ИГКЭ

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
Российской академии наук
основан в 1918 году

Современная изменчивость глобальных уровней содержания CO_2, CH_4 и N_2O в приповерхностном слое атмосферы

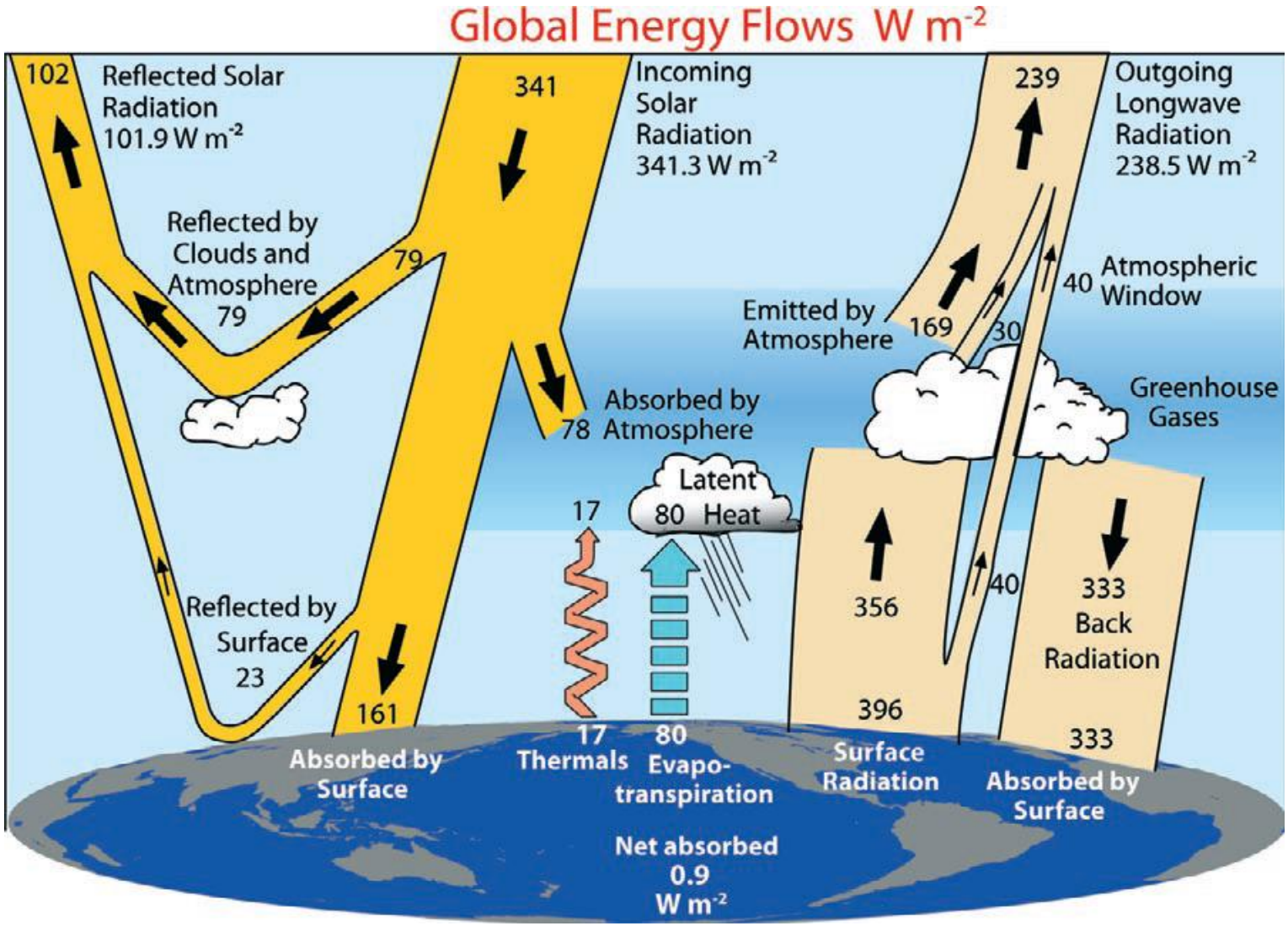
С.М. Семенов

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля

Институт географии РАН

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

***XIII сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу*. Томск, 15-19 октября 2019 г.**

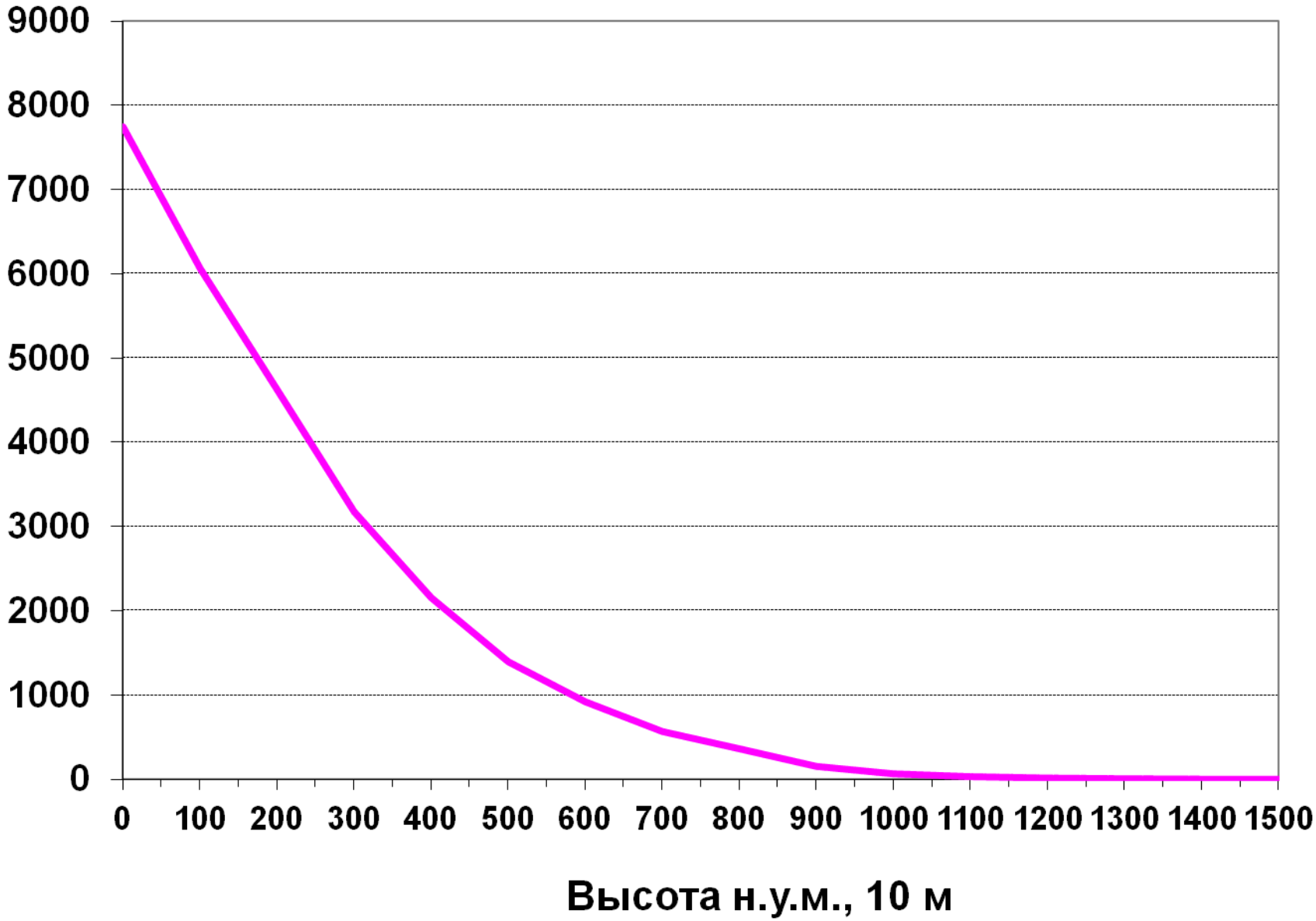


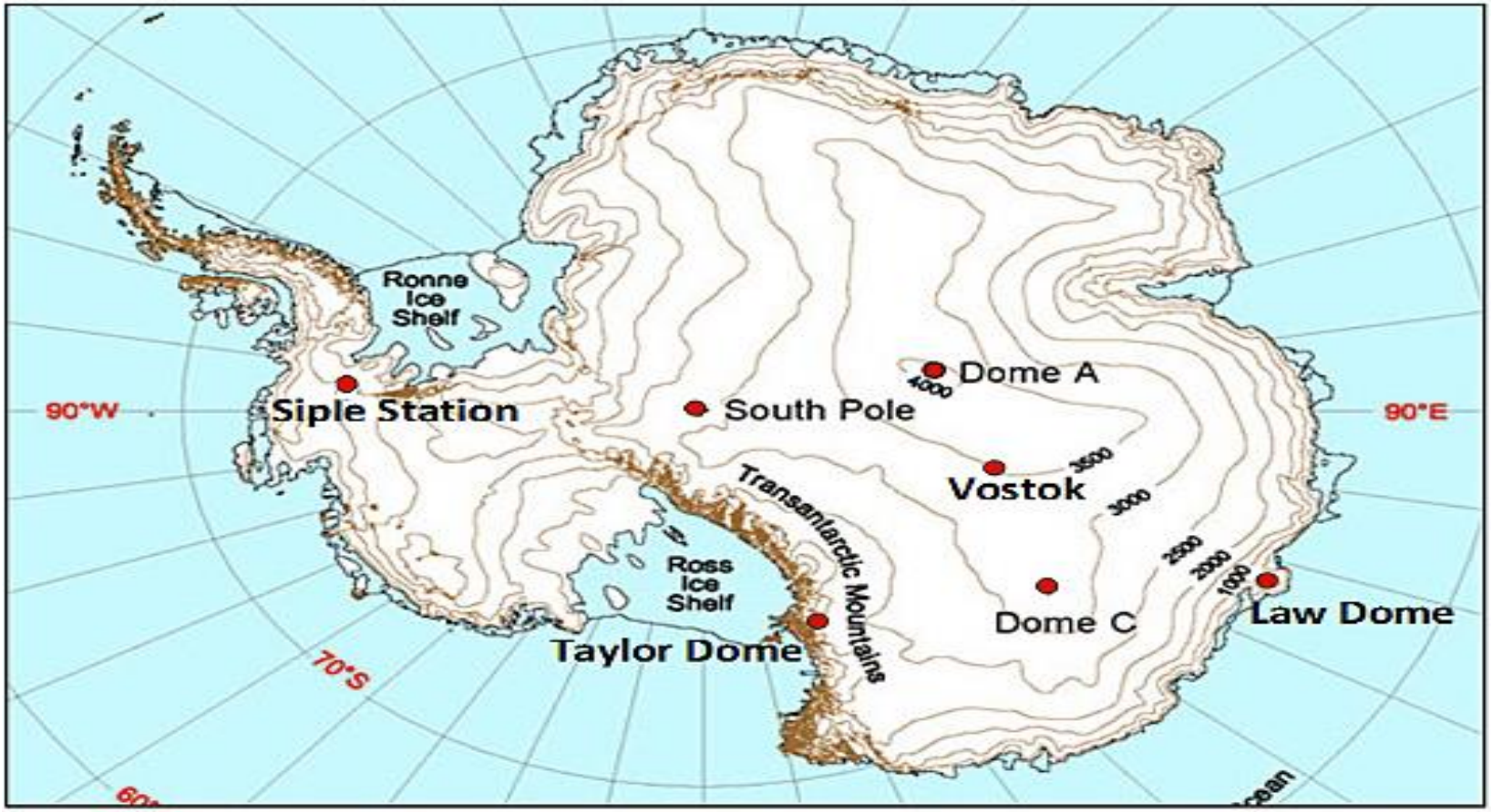
Trenberth K. E., Fasullo J. T., Kiehl J. Earth's global energy budget. BULLETIN OF AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. March 2009, pp. 311-323.

Газовый состав современной атмосферы Земли (сухой воздух)

Газ	Содержание по объёму, %
Азот	78.08
Кислород	20.95
Аргон	0.93
Углекислый газ	0.04
Метан	$1.8 \cdot 10^{-4}$
Закись азота	$3.3 \cdot 10^{-5}$

Вертикальное распределение содержания водяного пара (H_2O), ppm





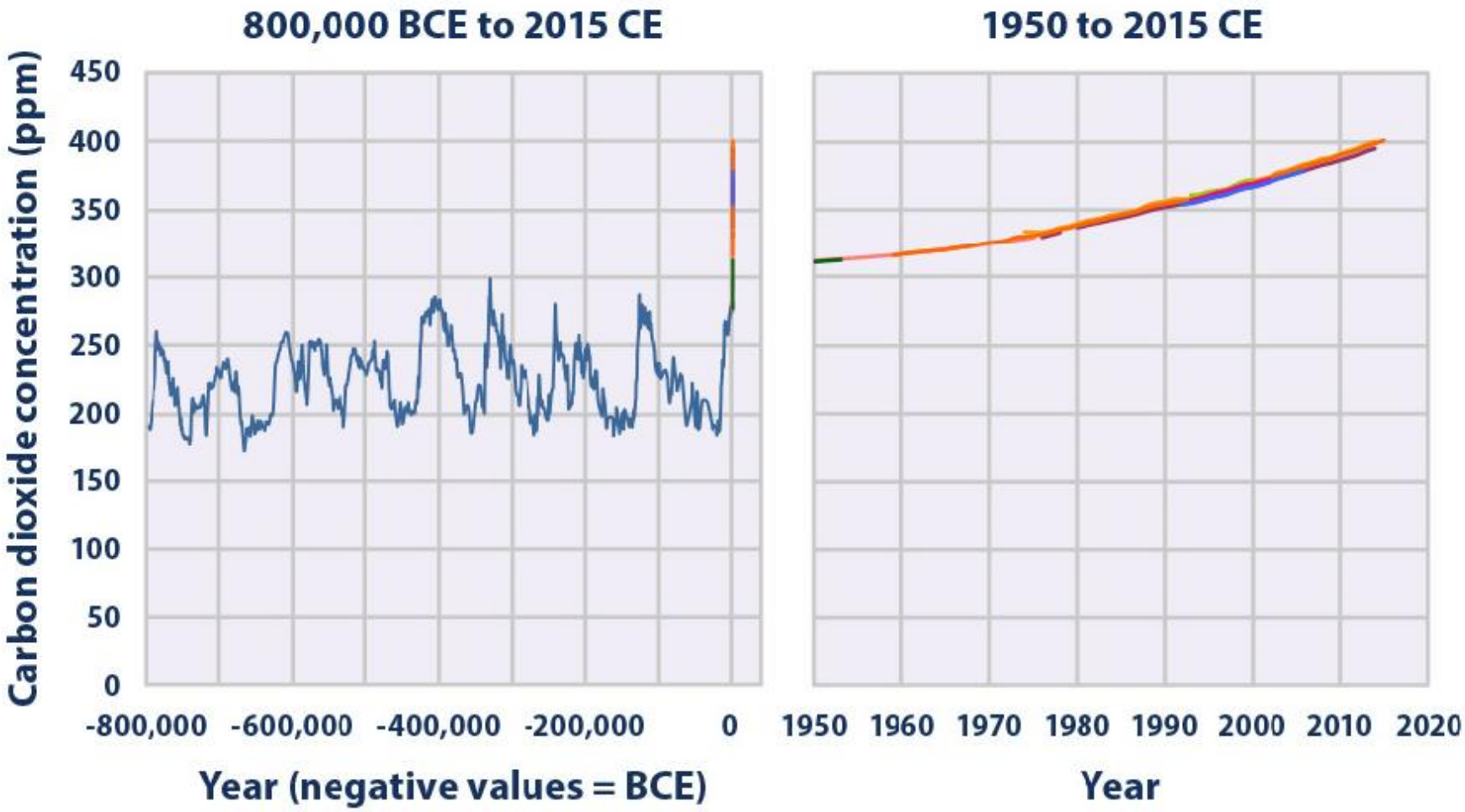
Dome C 800,000-year record: European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) members: D., M. Le Floch, B. Bereiter, T. Blunier, J.-M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Raynaud, J. Jouzel, H. Fischer, K. Kawamura, and T.F. Stocker.

Vostok 400 000-plus-year record: J.R.Petit, Laboratoire de Glaciologie et Geophysique de l'Environnement , Grenoble, France

Охват: от ~137 до 795 000 лет до настоящего времени до 1950 г.

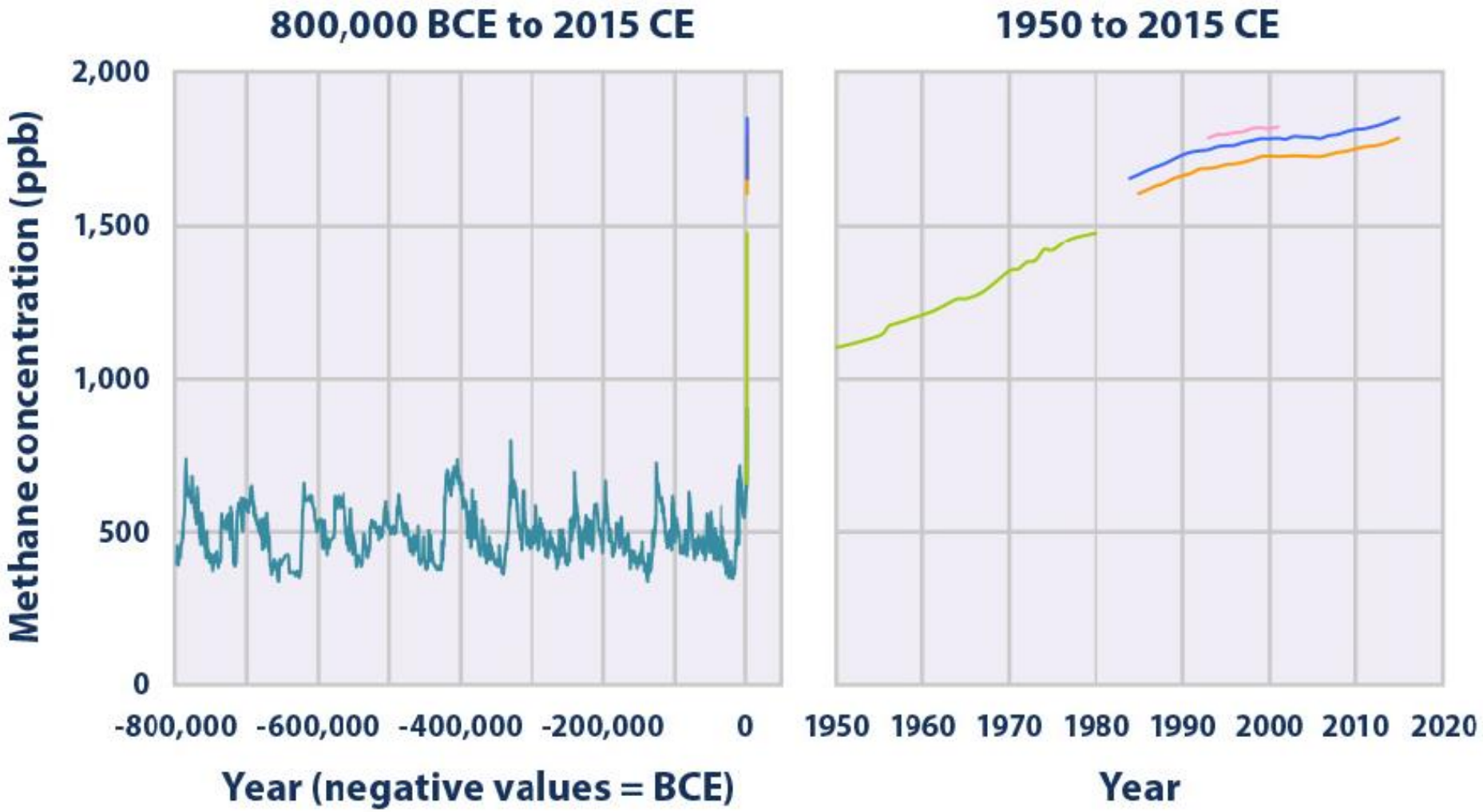
Концентрации углекислого газа за последние 800 000 лет и 1950-2015 гг.

Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases - www.epa.gov/climate-indicators - Updated August 2016



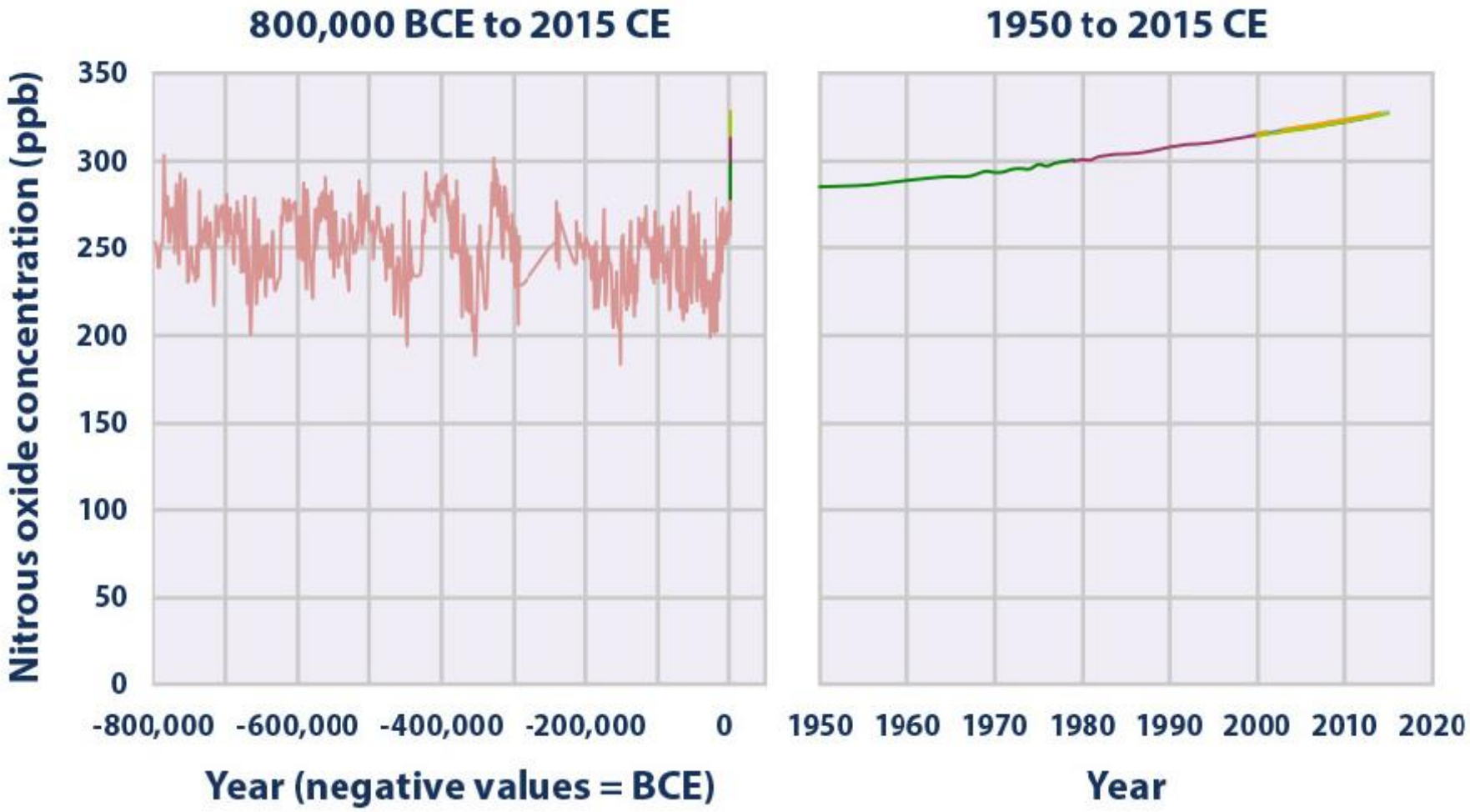
Концентрации метана за последние 800 000 лет и 1950-2015 гг.

Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases - www.epa.gov/climate-indicators - Updated August 2016



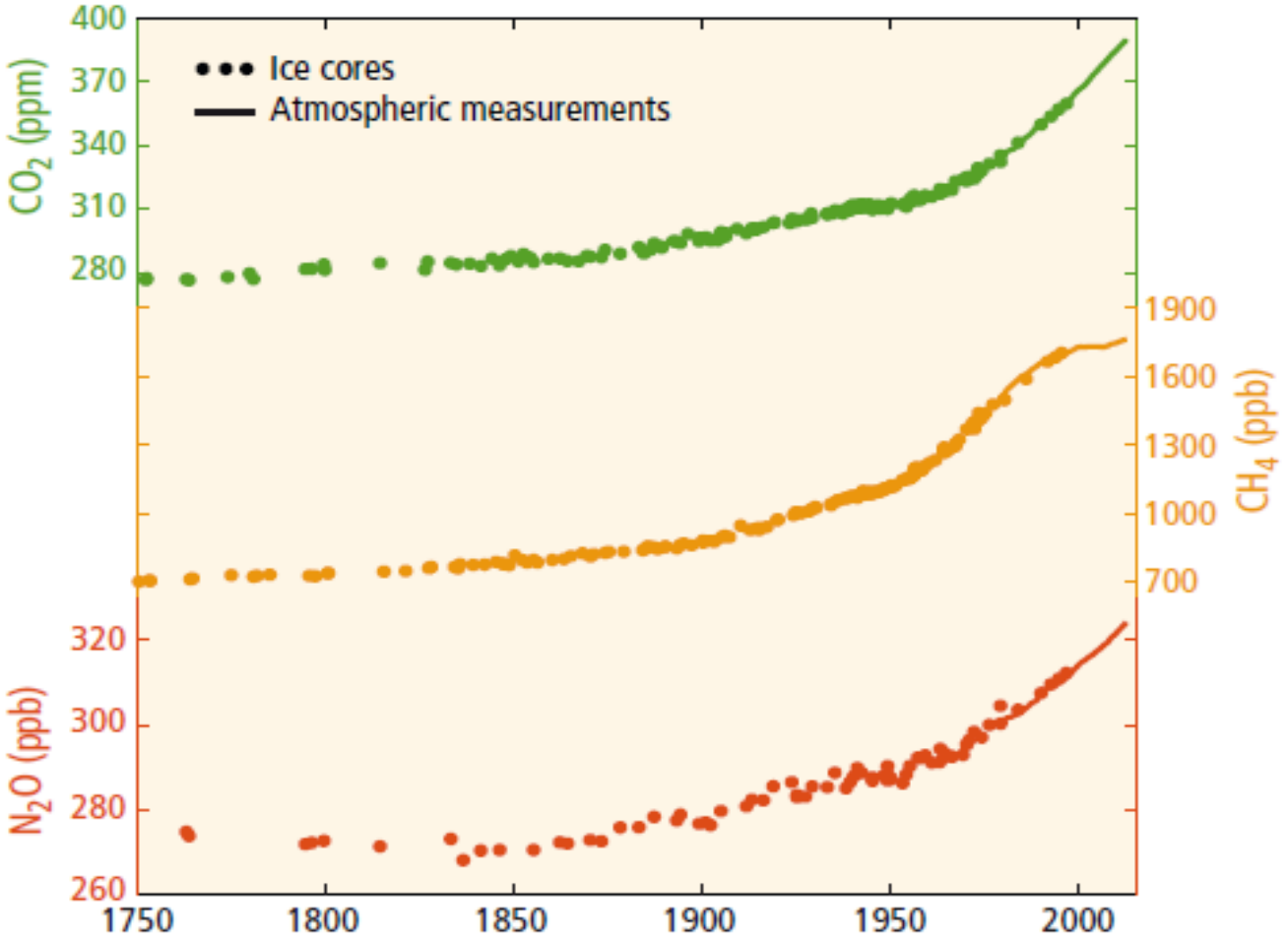
Концентрации закиси азота за последние 800 000 лет и 1950-2015 гг.

Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases - www.epa.gov/climate-indicators - Updated August 2016



Средние глобальные концентрации CO_2, CH_4 и N_2O в приповерхностном слое

(данные палеоклиматических исследований и мониторинга)



Среднее глобальное содержание CO_2, CH_4 и N_2O, выраженное в объемном отношении смеси: ppm, ppb, …, *примерно постоянно по вертикали в пределах тропосферы.*

Радиационное воздействие на систему «тропосфера - земная поверхность» (вследствие, скажем, изменения концентрации какого-либо парникового газа) есть изменение нетто-потока (Вт м$^{-2}$) лучистой энергии на высоте тропопаузы после установления нового термодинамического равновесия в стратосфере, но при невозмущенном распределении температуры в подсистеме «тропосфера - земная поверхность».

Наибольший вклад в радиационное воздействие (Вт/м^2) с 1750 по 2011 г. внесли именно рассматриваемые нами газы (МГЭИК, 2013):

Углекислый газ, CO_2:	**1.82 (1.63 – 2.01)**
Метан, CH_4 :	**0.48 ± 0.05**
Закись азота, N_2O :	**0.17 ± 0.03**
Суммарно все ПГ:	**2.83 (2.54 – 3.12)**

Поэтому изменения их содержания в атмосфере является предметом систематических измерений и оценок в различных районах Земного шара – т.е. предметом глобального мониторинга.

Углекислый газ (CO_2): Ископаемые топлива (уголь, нефть, газ) и производство цемента – основной антропогенный источник этого газа. CO_2 также выделяется при прямых антропогенных воздействиях в лесном хозяйстве и при других видах землепользования (например, при сведении лесов, в том числе для целей сельского хозяйства, вследствие деградации почв). CO_2 может изыматься из атмосферы при восстановлении лесов, улучшении состояния почв и других процессах.

Метан (CH_4): Выделяется, в том числе, при ведении сельского хозяйства, переработке отходов, использовании энергии, сжигании биомассы.

Закись азота (N_2O): Выделяется, в том числе, при ведении сельского хозяйства (например, при использовании некоторых удобрений), при использовании установок внутреннего сгорания.

Фторсодержащие газы: Источники - процессы промышленного производства, криогенные процессы, использование множества товаров широкого потребления технологии. Основные вещества - гидрофторуглероды (HFCs), перфторуглероды (PFCs), гексафторид серы (SF_6).

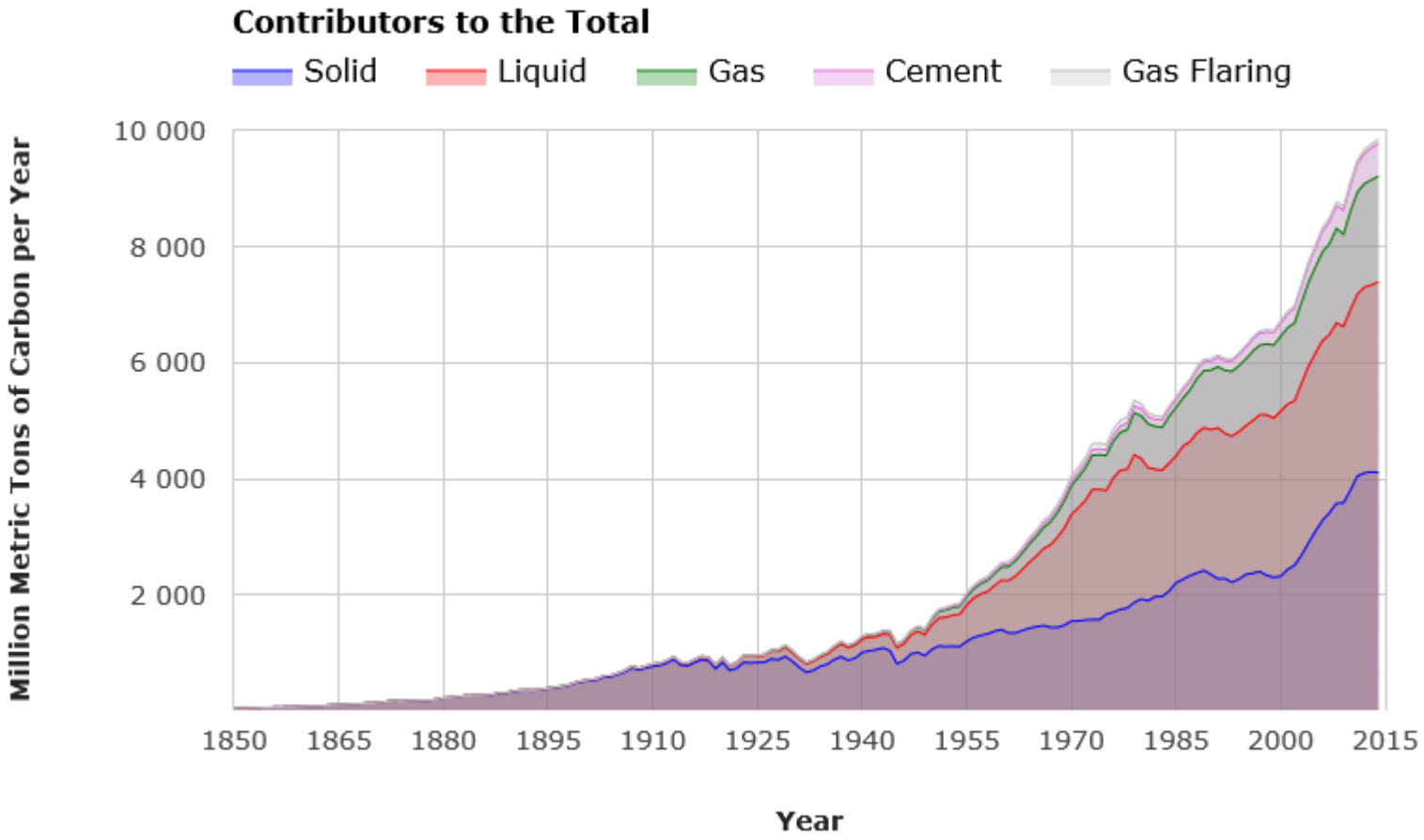
Газ	Эмиссия антропогенная в атмосферу	Эмиссия естественная в атмосферу	Сток из атмосферы	Расчетное накопление в атмосфере	Фактическое накопление в атмосфере
CO_2	6.3 Гт (C)/год	150 Гт (C)/год	153 Гт (C)/год	3.3 Гт (C)/год	3.4 Гт (C)/год (1.6 ppm /год)
CH_4	450 Мт (CH_4)/год	160 Мт (CH_4)/год	580 Мт (CH_4)/год	30 Мт (CH_4)/год	20 Мт (CH_4) /год (7 ppb/год)
N_2O	8.1 Мт (N)/год	9.6 Мт (N)/год	12.3 Мт (N)/год	5.4 Мт(N)/год	4 Мт(N)/год (0.8 ppb/год)

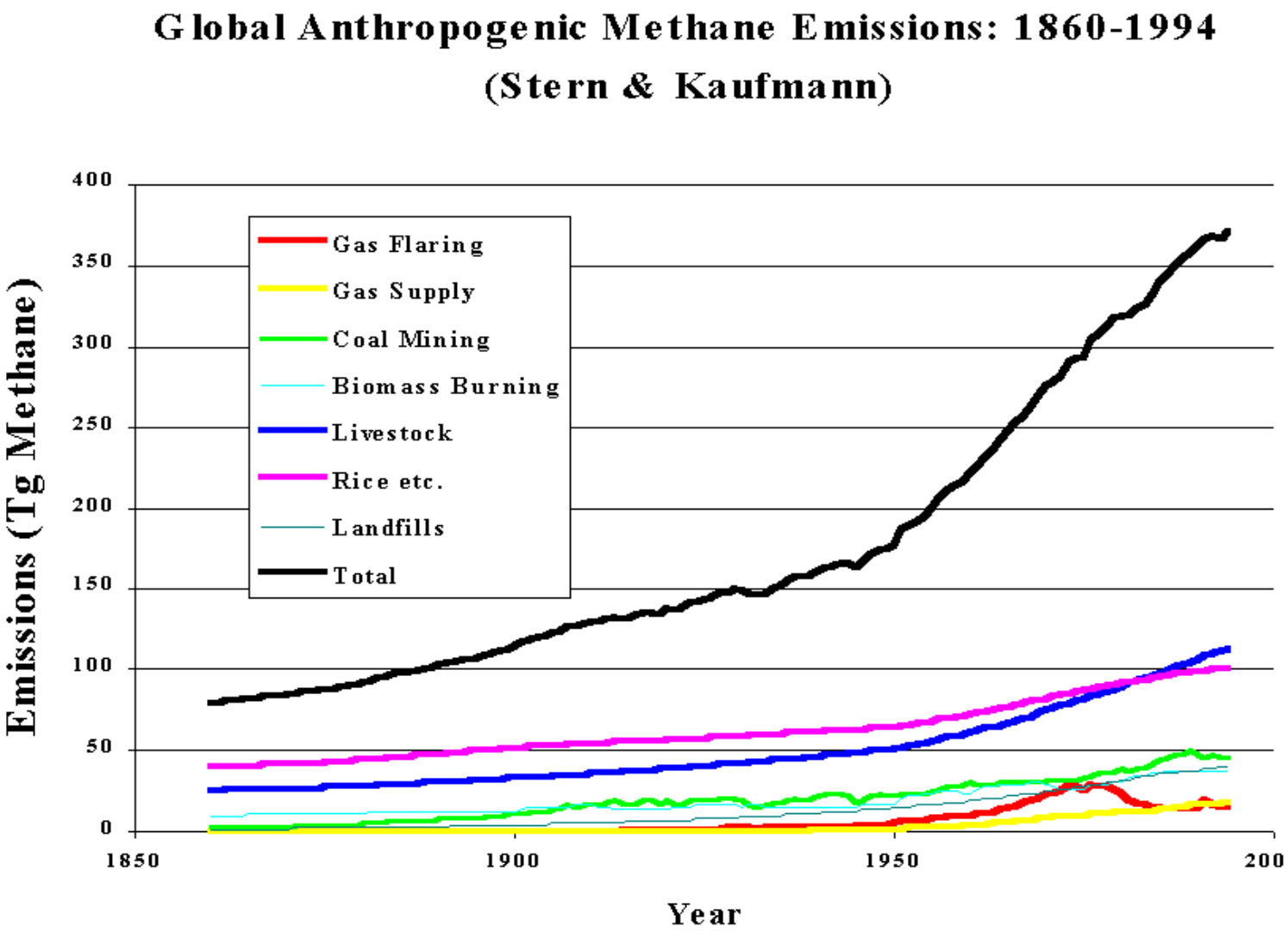
Потоки CO_2, CH_4 и N_2O в 1980-1998 гг.

2.12 Гт(C-CO2)/ppm(CO_2) ; 2.8 Мт(CH_4)/ppb(CH_4) ; 4.96 Мт(N-NO_2)/ppb(N_2O)

Глобальные эмиссии CO_2 от сжигания ископаемого топлива и попутного газа, а также производства цемента, 1900-2010 гг., Мт(С)

Boden, T.A., Marland, G., and Andres, R.J. (2017). Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001_V2017.





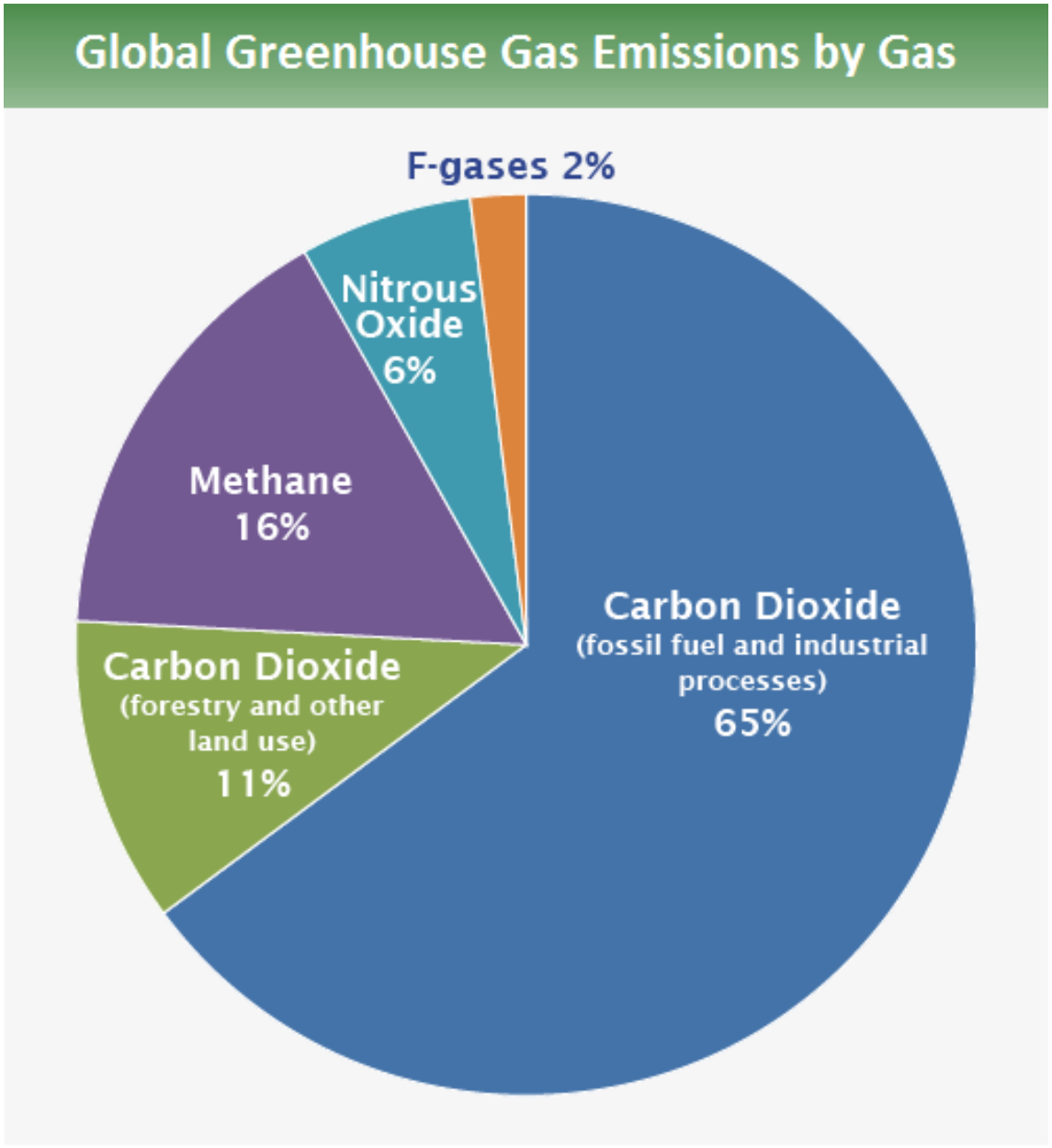
Глобальные антропогенные выбросы метана в 1860-1994 гг. (Stern, Kaufmann, 1998). https://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_TRENDS_CH4_EMISSIONS.html

Для количественной характеристики способности ВЫБРОСОВ какого-либо вещества производить радиационное воздействие на систему "тропосфера+земная поверхность" используется понятие потенциала глобального потепления ПГП.

Абсолютный потенциал глобального потепления (AGWP - Absolute Global Warming Potential) определяется как суммарное радиационное воздействие, которое за определенный промежутка времени *TH* (time horizon - временнОй горизонт) вызовет однократная эмиссия в атмосферу 1 кг данного вещества в начале этого промежутка времени.

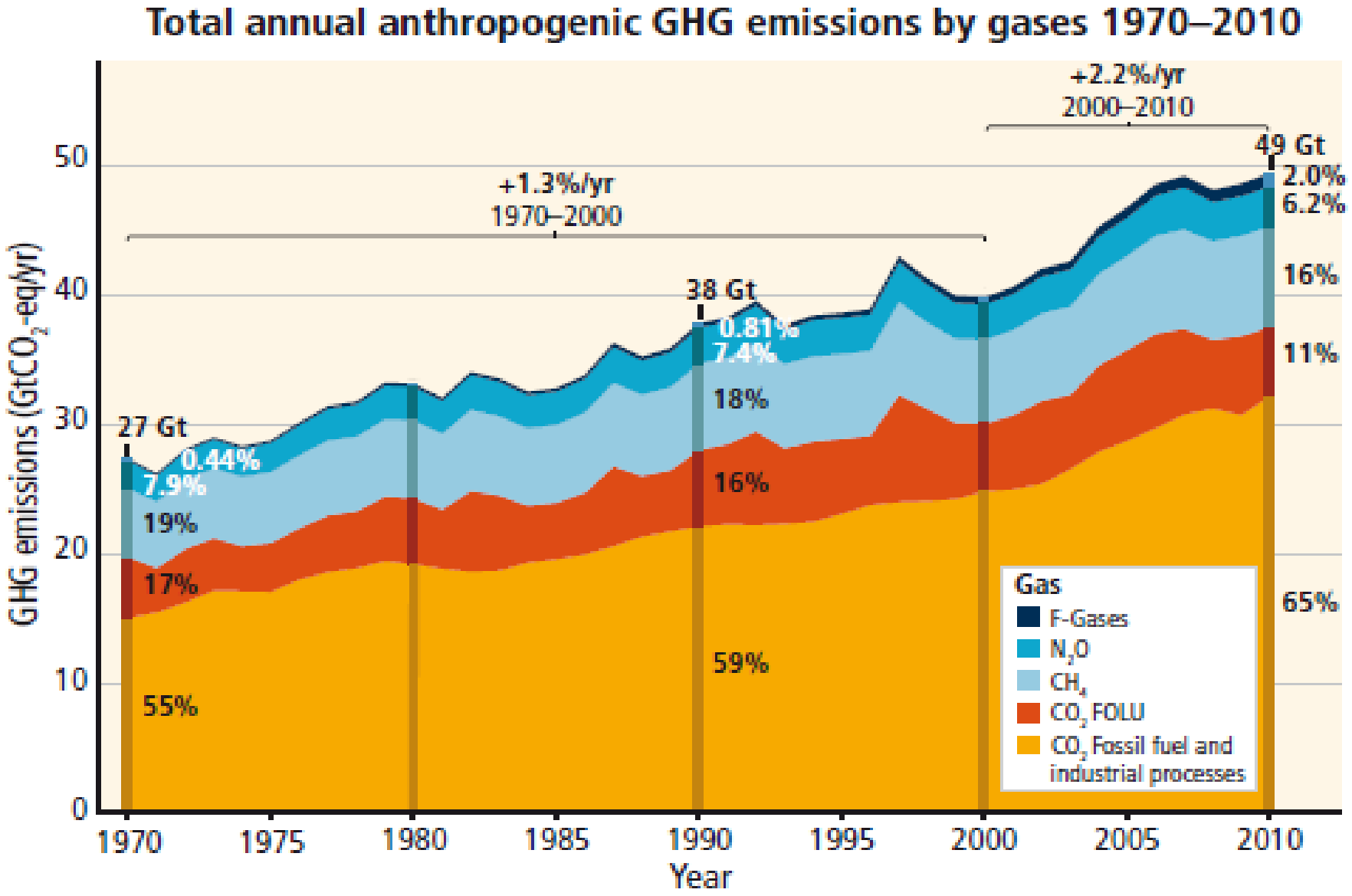
Потенциал глобального потепления для какого-либо вещества (GWP - global warming potential) и временнОго горизонта определяется, как отношение значений абсолютного потенциала глобального потепления AGWP для данного вещества и для некоторого эталонного (reference) вещества. Принято, что это вещество – CO_2.

GWP дает возможность измерять массу выброса какого-либо парникового газа в CO_2-эквивалентах, т.е. массой CO_2, оказывающей такое же радиационное воздействие. При временнОм горизонте 100 лет GWP для метана 28, для закиси азота 265.



Глобальные выбросы парниковых газов (измеренные в CO_2-экв.) в 2010 г., %

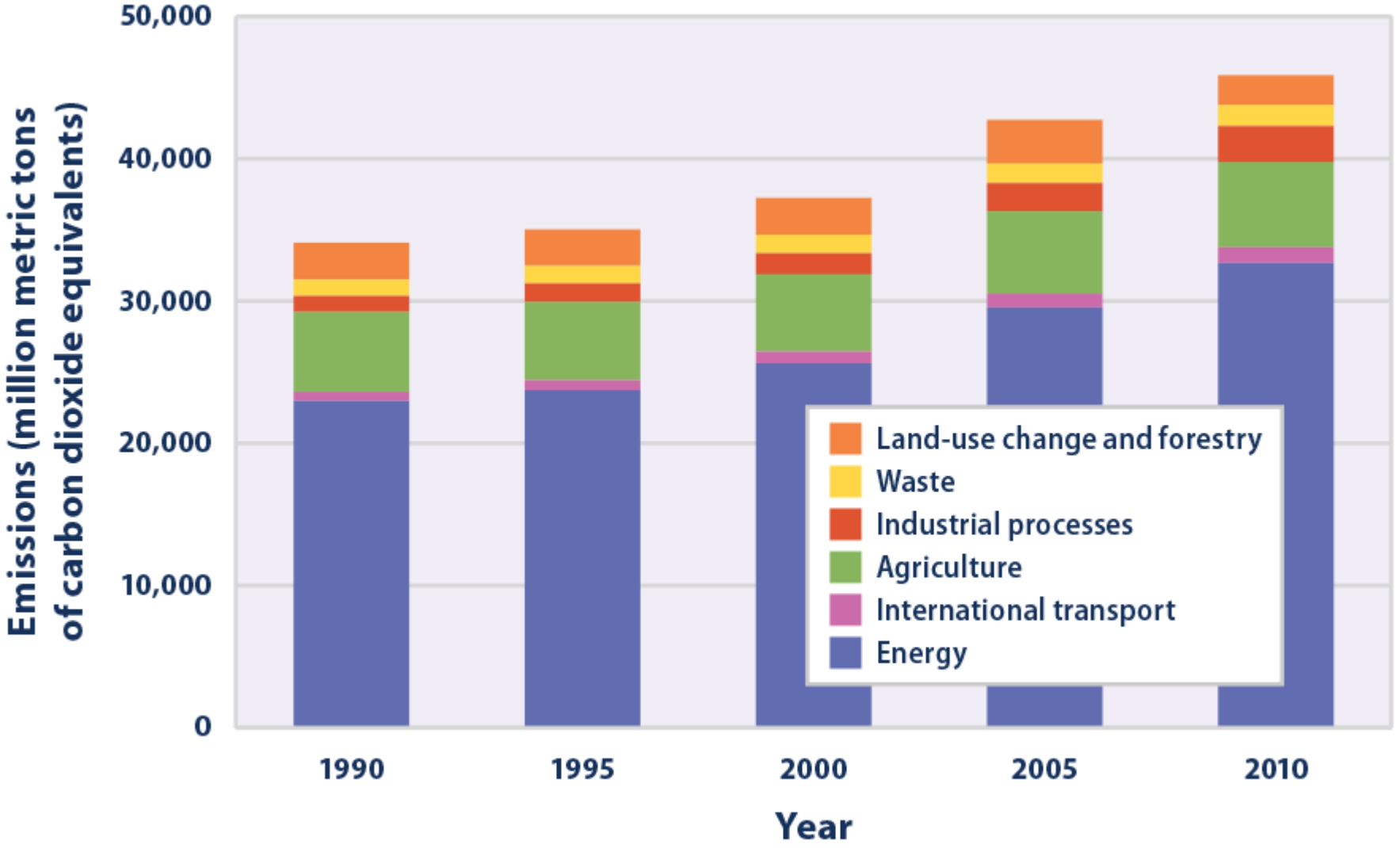
IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., p.7. Fig. SPM-1/



Суммарные годовые эмиссии ПГ ($ГтCO_2$экв /год) в 1970 – 2010 гг.: CO_2 от процессов сгорания и промышленности, CO_2 от лесного хозяйства и других видов землепользования (FOLU); метан (CH_4); закись азота (N_2O); хлорированные газы, подпадающие под условия Киотского протокола (IPCC, 2014).

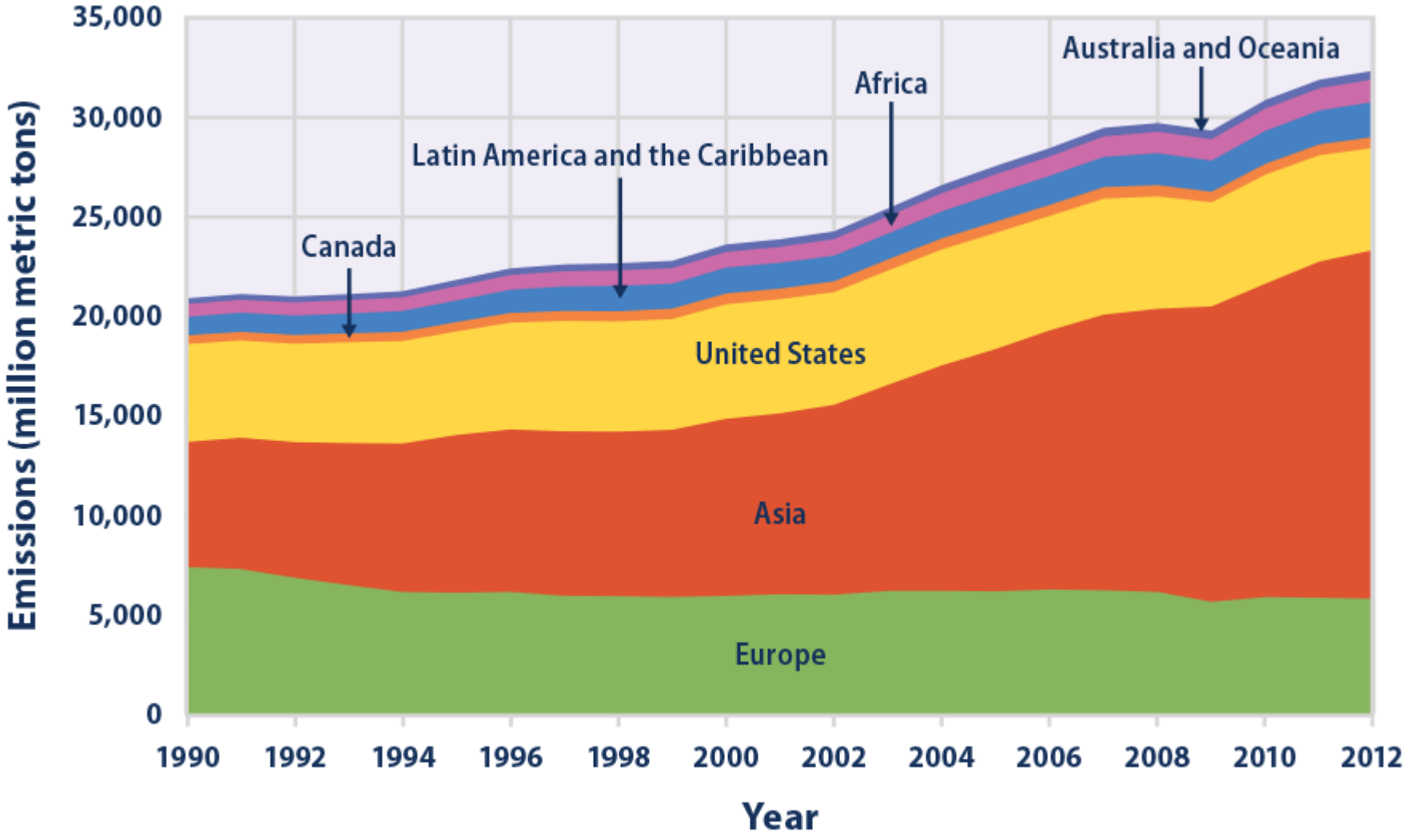
Глобальные эмиссии парниковых газов по секторам в 1990-2010 гг.

(WRI (World Resources Institute). 2014. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0: WRI's climate data explorer. Accessed May 2014. http://cait.wri.orn; FAO (Food and Agriculture Organization). 2014. FAOSTAT: Emissions—land use. Accessed May 2014. http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/G2/*/E) **https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-global-greenhouse-gas-emissions**



Глобальные эмиссии парниковых газов по регионам в 1990-2012 гг.

(WRI (World Resources Institute). 2015. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0: WRI's climate data explorer. Accessed December 2015. http://cait.wri.org)



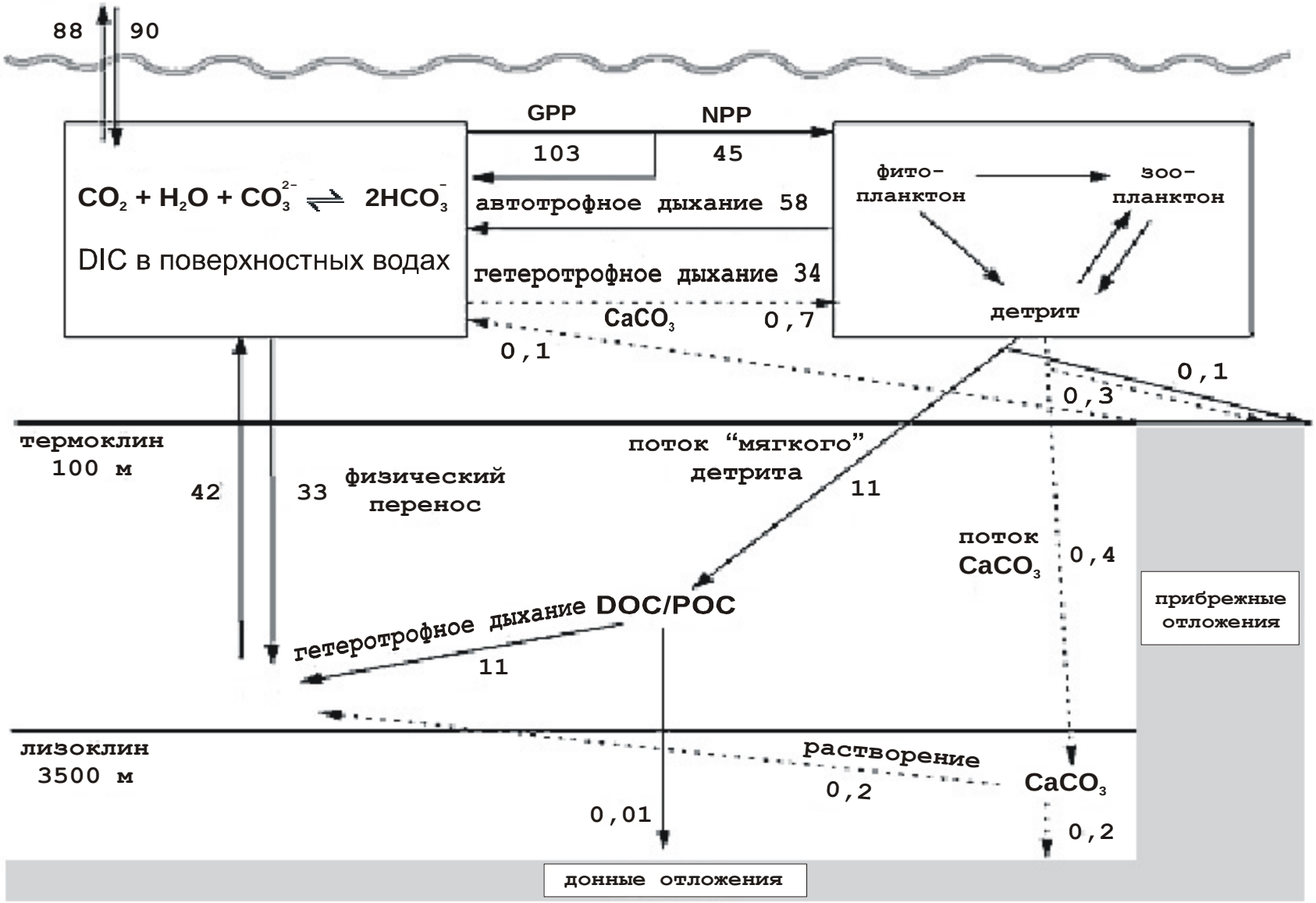
Сток (выведение) из атмосферы

CO_2 – химический сток в атмосфере пренебрежимо мал; выводится из атмосферы, в основном, за счет

- **растворения в недонасыщенных каплях влаги в атмосфере и последующего выпадения осадков;**
- **в океан за счет растворения в недонасыщенном поверхностном слое;**
- **растворения в недонасыщенных пресных водах суши (с последующим выносом в океан);**
- **поглощения растительным покровом суши и – весьма медленного – депонирования углерода в устойчивых формах.**

CH_4 – разрушается в атмосфере в ходе химических и фотохомических реакций, в основном, в тропосфере при реакции с гидроксил-радикалом и в стратосфере за счет реакции с атомарным хлором; время жизни 12.4 года.

N_2O – в тропосфере практически не расходуется; разрушается в стратосфере в реакциях $NO_2 + O(^1D) \rightarrow 2NO$ и $N_2O + hv \rightarrow N_2 + O$. Время жизни 121 год.



Глобальные оценки потоков углерода в океане, связанных с естественными процессами. Потоки приведены в Гт С год$^{-1}$. GPP – общая первичная продуктивность; NPP – чистая первичная продуктивность; DOC – растворенные органические вещества; DIC – растворенные неорганические вещества; POC – органические частицы. Источник: (Prentice et al., 2001, p. 188).

Сток метана на земной поверхности пренебрежимо мал. Этот газ разрушается в атмосфере, безвозвратно расходуется в ходе химических и фотохомических реакций, в основном, в тропосфере при реакции с гидроксил-радикалом OH и в стратосфере за счёт реакции с атомарным хлором Cl, а также с электронно-возбуждённым атомом кислорода $O(^1D)$ (Бажин, 2000; Дзюба и др., 2012):

$$OH + CH_4 \rightarrow H_2O + CH_3 ;$$

$$Cl + CH_4 \rightarrow HCl + CH_3 ;$$

$$O(^1D) + CH_4 \rightarrow OH + CH_3$$

(или $O(^1D) + CH_4 \rightarrow CH_3OH$; $O(^1D) + CH_4 \rightarrow CH_2O + H_2$).

В тро-

посфере закись азота практически не расходуется. В стратосфере она разрушается в результате химической реакции с электронно-возбуждённым атомом кислорода (IPCC, 2001):

$$N_2O + O(^1D) \rightarrow 2NO ,$$

а также за счёт фотохимической реакции

$$N_2O + h\nu \rightarrow N_2 + O.$$

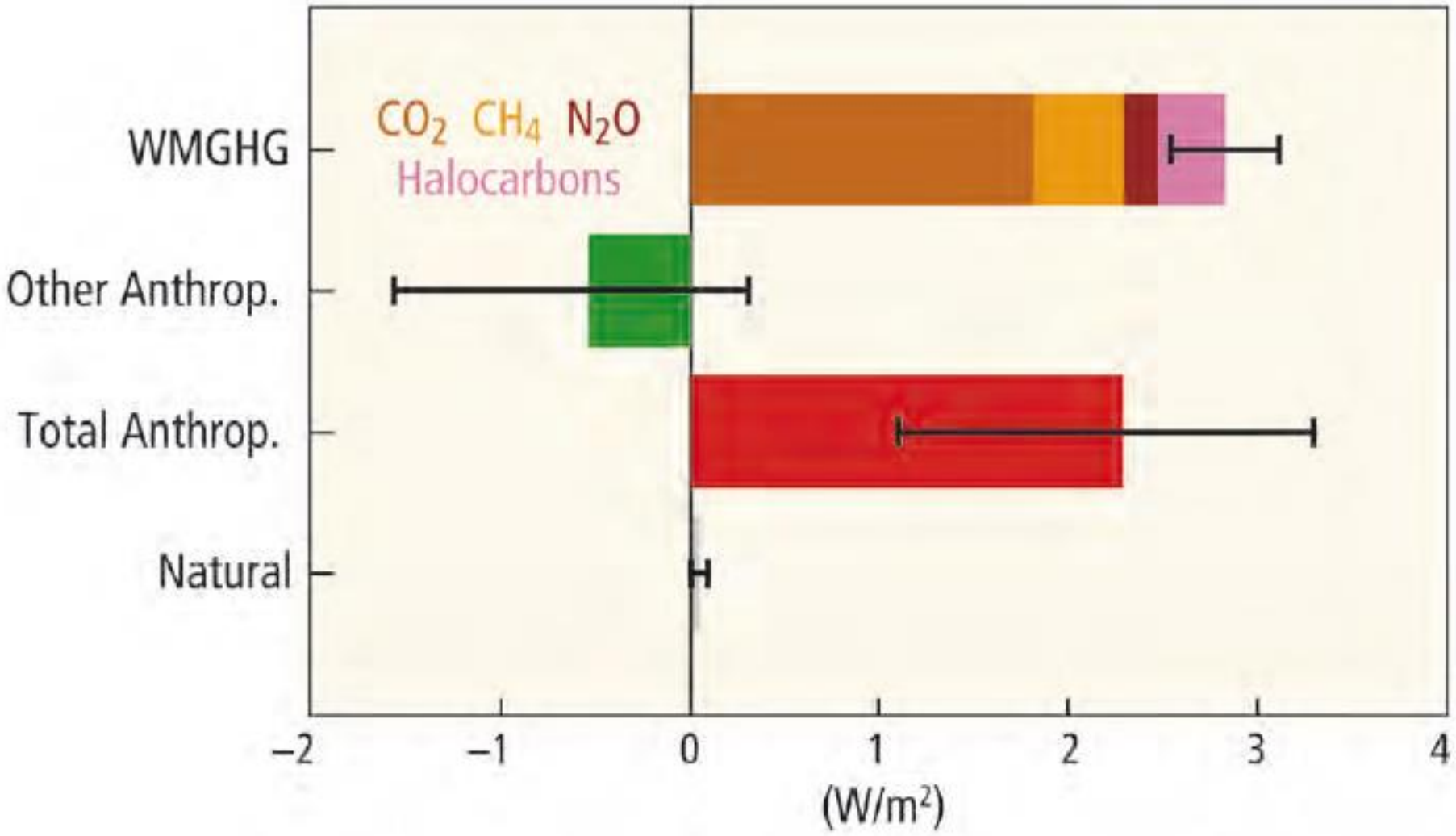
Voulgarakis A., Naik V., Lamarque J.F., Shindell D.T., Young P., Prather M.J., Wild O., Field R., Sudo K., Szopa S., Zeng G. 2013 Analysis of present day and future OH and methane lifetime in the ACCMIP simulations // Atmospheric Chemistry and Physics. 2013. Vol. 13. P. 2563–2587. doi: 10.5194/acp-13-2563-2013.

OH production in the atmosphere is initiated by the photolysis of ozone at wavelengths smaller than 330 nm:

$$O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O(^1D)(\lambda < 320\,\text{nm}) \qquad \text{(R1)}$$

The product of this temperature-dependent (Atkinson et al., 2004) interaction with sunlight is an excited oxygen atom (O^1D), which can then combine with water vapour to produce two molecules of OH:

$$O(^1D) + H_2O \rightarrow OH + OH \qquad \text{(R2)}$$



Радиационное воздействие основных антропогенных факторов в 2011 году по сравнению с началом индустриальной эры - условно, с 1750 г., велико. Рост их уровней содержания в атмосфере обусловлен антропогенными причинами, является предметом глобального фонового мониторинга.

Относительно термина «*Глобальный фоновый мониторинг* содержания какого-либо вещества в приповерхностном слое атмосферы» всегда существовали *две различные точки зрения*.

Он всегда понимался как процесс продолжающихся систематических наблюдений (измерений) одинаковыми или сопоставимыми методами с целью получения информации для оценки уровня содержания … (*и здесь точки зрения расходятся*):

***а) в каждой* точке пространства в *любой* момент времени;**

Эта формулировка* (в идеале) *в большей мере соответствует термину “повсеместный непрерывный мониторинг”, который вряд ли осуществим в глобальном масштабе на базе инструментальных измерений, а лишь возможен, вероятно, с помощью дистанционных спутниковых методов.

б) в тех точках* пространства и *в те моменты* времени, *где/когда эти уровни формируются за счет процессов глобального масштаба, протекающих в земной системе.

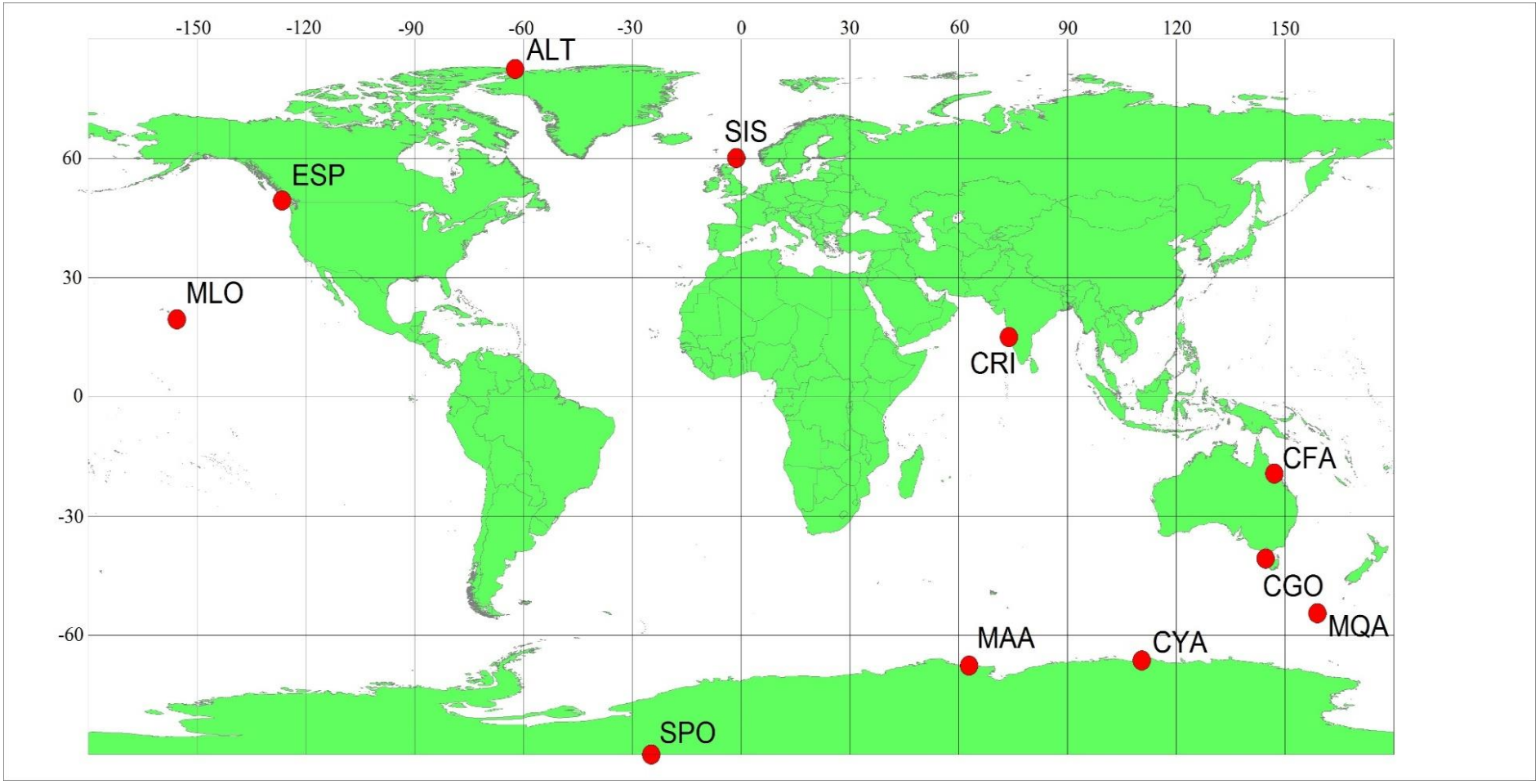
Мы будем придерживаться понимания (б) .

Чарльз Дэвид КИЛИНГ (Charles David Keeling, April 20, 1928 – June 20, 2005), Институт Скриппса, **проводил измерения уровня CO_2 на станции Мауна-Лоа в 1958-1974 г.**

https://yandex.ru/images/search?text=David%20Keeling%20greenhouse%20gases&noreask=1&img_url=https%3A%2F%2Ffederalnewsradio.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F11%2FClimate-Countdown-History.jpeg&pos=0&rpt=simage&lr=213

Сеть Global Atmosphere Watch (GAW) Всемирной Метеорологической Организации (ВМО)

Сеть пробоотборных станций научно-промышленной исследовательской организации Содружества наций (CSIRO)



CSIRO GASLAB Flask Sampling Network.

The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)

Таблица 1. Названия станций сети CSIRO и места их расположения

Обозначение	Полное название	Расположение
ALT	Alert	Канада
ESP	Estevan Point	Канада
SIS	Shetland Islands	Великобритания
MLO	Mauna Loa	США
CRI	Cape Rama	Индия
CFA	Cape Ferguson	Австралия
CGO	Cape Grim	Австралия
CYA	Casey	Антарктида
MAA	Mawson	Антарктида
MQA	Macquarie Island	Австралия
SPO	South Pole	Антарктида

Данные: **Среднемесячные концентрации CO_2, CH_4, N_2O за 1990-2014 гг. на 11 станциях сети CSIRO**

(архив *CSIRO_gaslab data_Jul2015.zip)*

Архив содержит данные фляжечных измерений на сети пробоотборных станций CSIRO (http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/co2/modern_co2.html, → DATA → CSIRO).

В этой многолетней работе по мониторингу концентраций и дальнейшему их исследованию участвовали ведущие специалисты CSIRO: *D.M. Etheridge, P.B. Krummel, R.L. Langenfelds, L.P. Steele* и др.

Данные мониторинга с этих и других станций можно также найти на ресурсе Мирового центра ВМО по парниковым газам https://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/cgi-bin/wdcgg/catalogue.cgi (WMO World Data Centre for Greenhouse Gases).

Автор признателен *Полу Краммелу* и *Рэю Лангенфельдсу* (CSIRO) за полезные консультации по данным мониторинга концентраций парниковых газов.

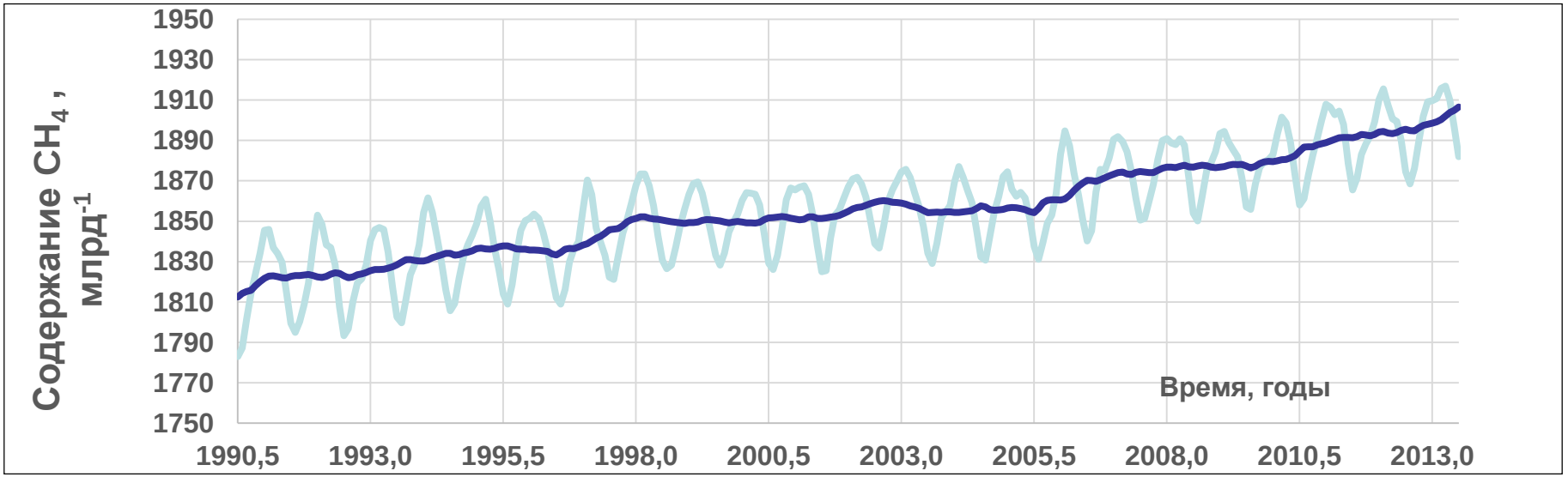
Для каждой станции, исходя из ее ряда среднемесячных концентраций за 1990-2014 гг., строились 3 производных ряда:

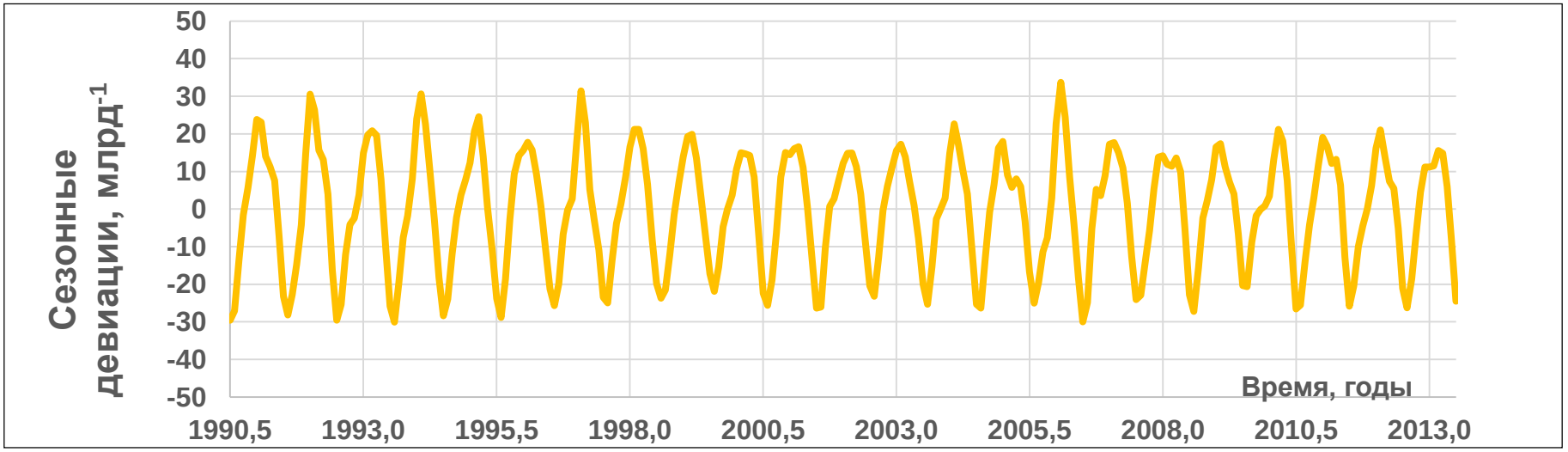
(А)* - ряд скользящих 12-месячных значений**, т.е. ***средних за каждые последовательные 12 месяцев; такое «среднегодовое» значение относилось к границе между 6-м и 7-м месяцем;

(В)* - ряд скользящих 2-месячных средних значений, т.е.** ***средних за 6-й и 7-й месяцы скользящего 12-месячного интервала (они также будут относиться к тому же сроку);

(В-А)* - ряд «остатков»,** ***характеризующих внутригодовую (сезонную) изменчивость концентраций.

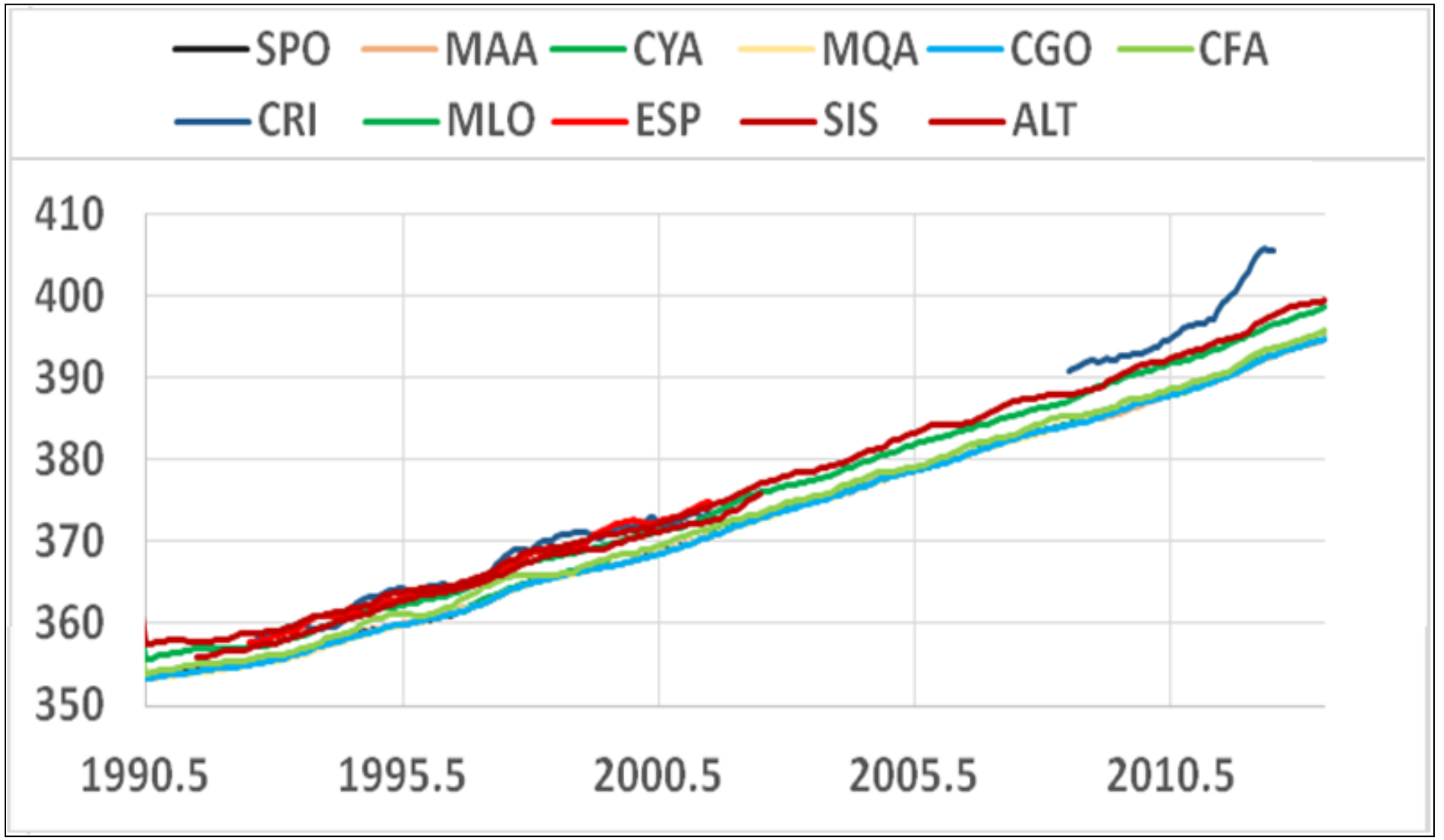
Пример производных рядов для рядов CH_4, станция ALT (Alert): *A* - черная линия, *B* - синяя линия, (*B*-*A*) - коричневая линия



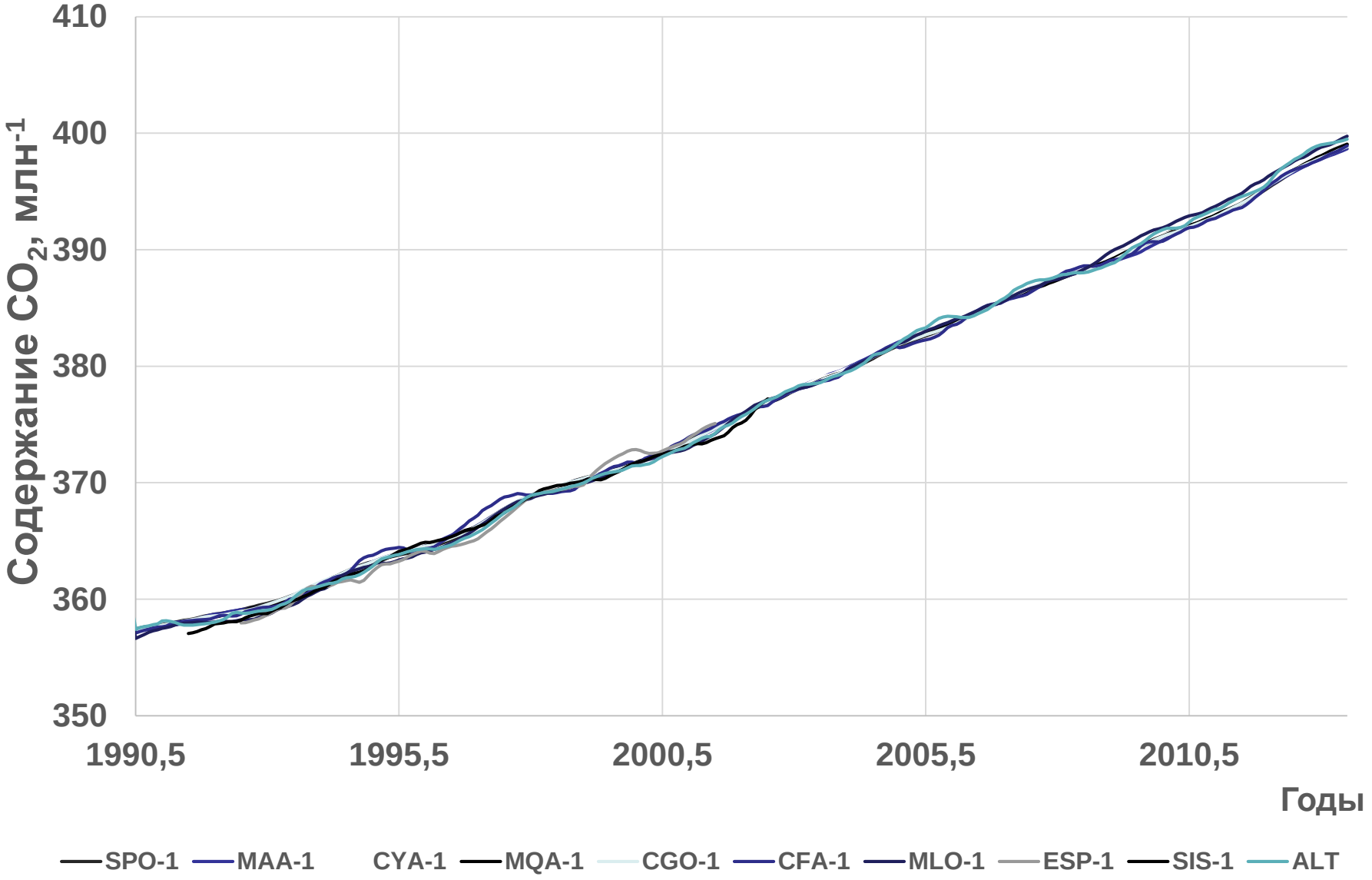


Изменение во времени 12-месячных скользящих средних - ряды *A* :

содержание CO_2, млн$^{-1}$

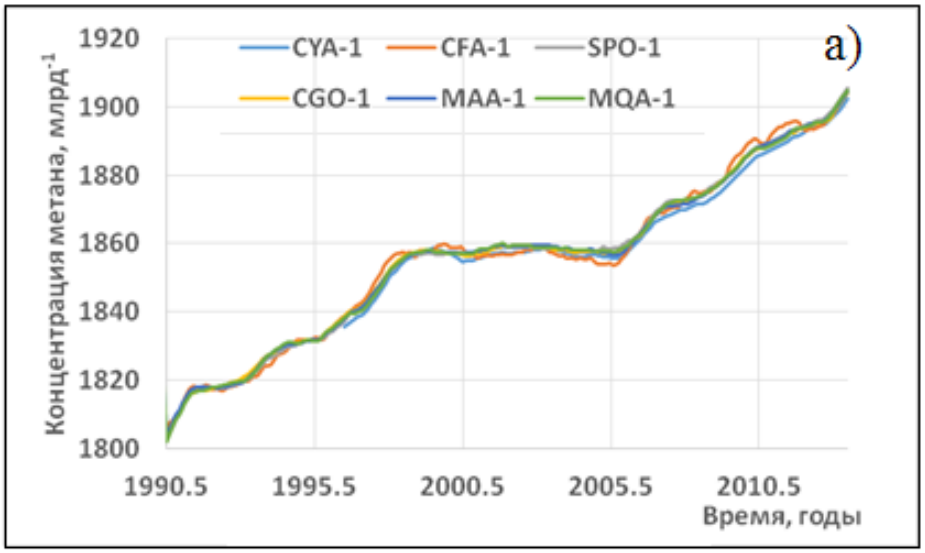


Изменение во времени 12-месячных скользящих средних - ряды *A* :
содержание CO_2, млн$^{-1}$ (*удалены систематические различия с уровнями на станции ALT; данные станции CRI удалены*)



Изменение во времени 12-месячных скользящих средних - ряды *A* :

содержание CH_4, млрд$^{-1}$

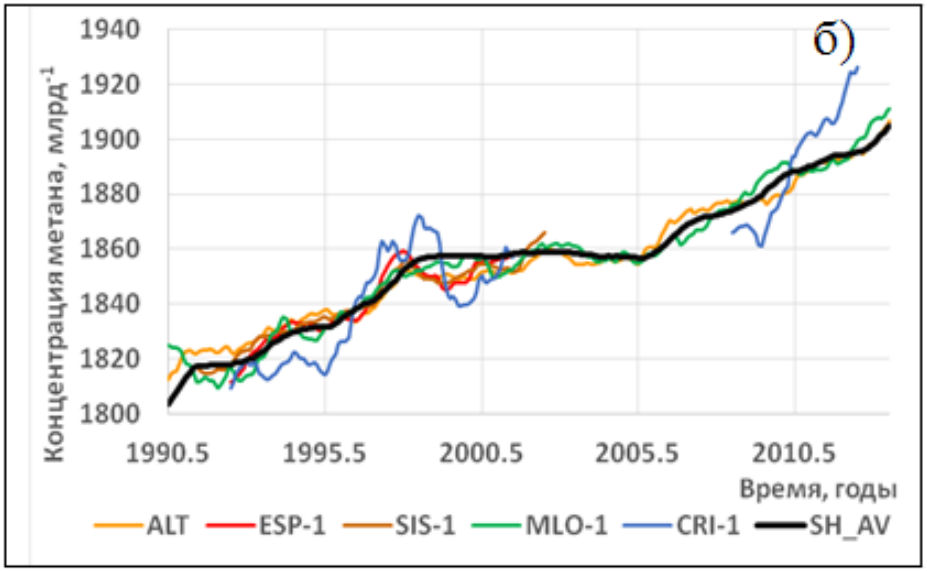


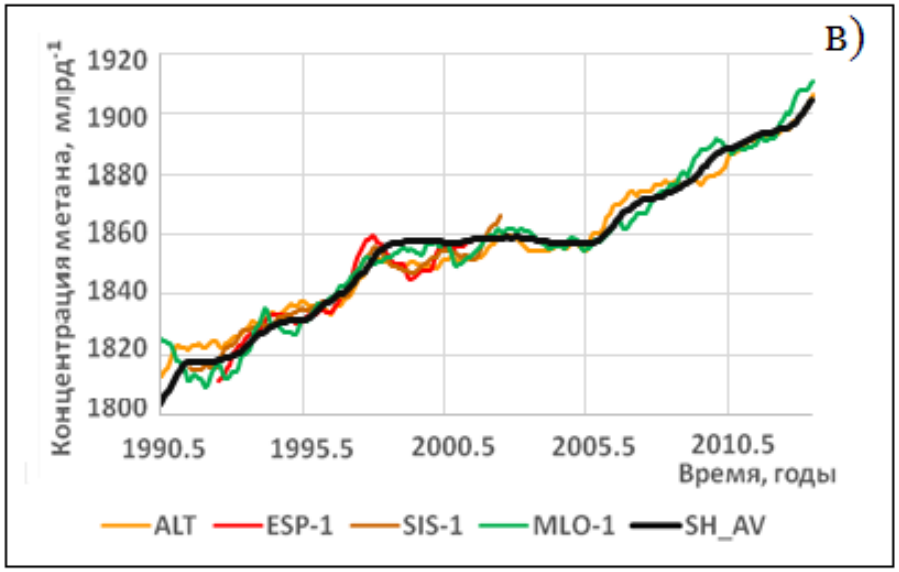
Удалены систематические различия с данными станции Alert (в знак чего к кодам станций прибавлено «-1»):

а) станции Южного полушария;

б) станции Северного полушария и среднее для станций Южного полушария – черная линия (SH_AV);

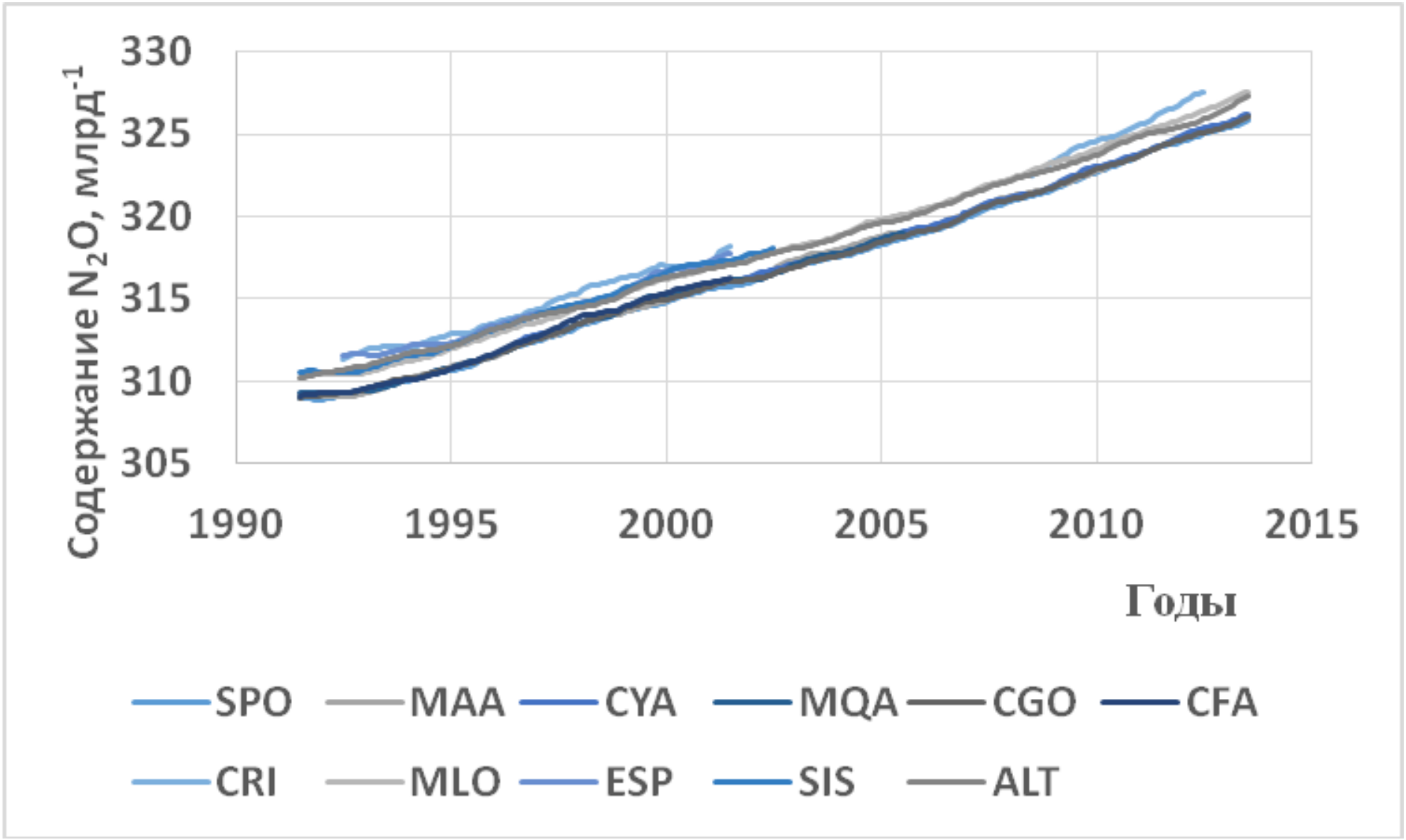
в) см. (б), но удалена станция CRI.



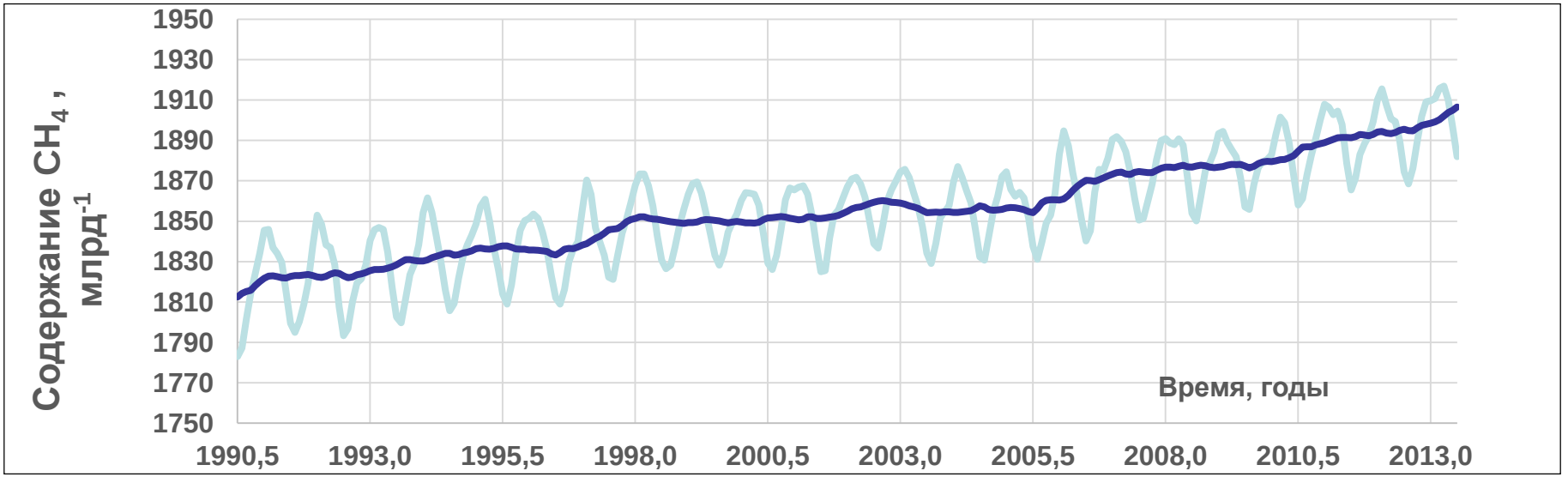


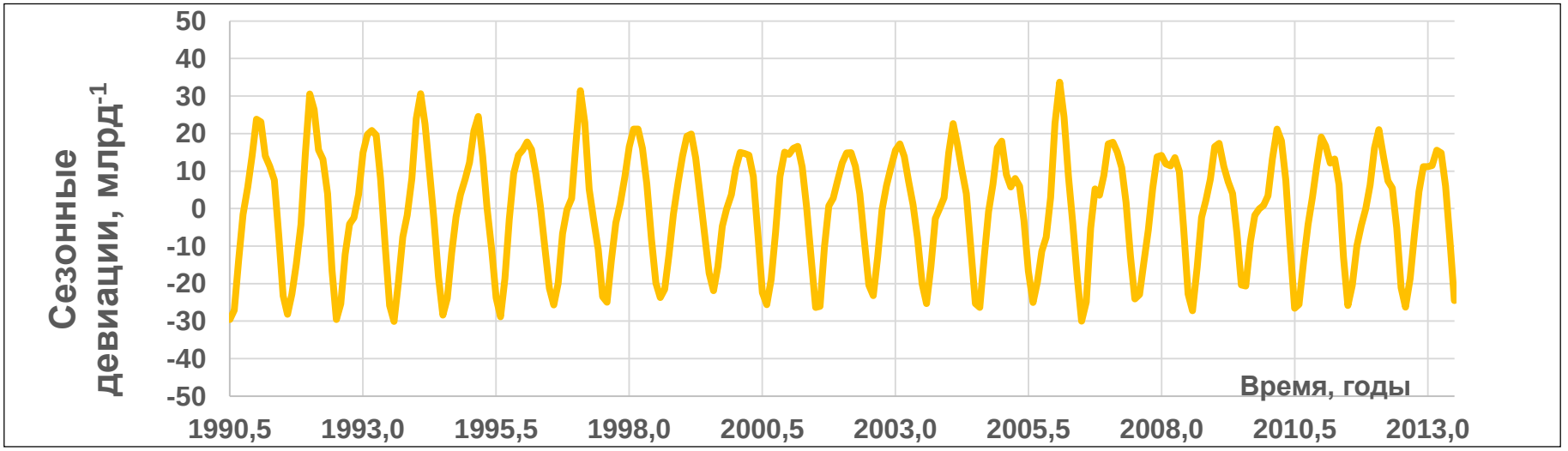
Изменение во времени 12-месячных скользящих средних - ряды *A* :

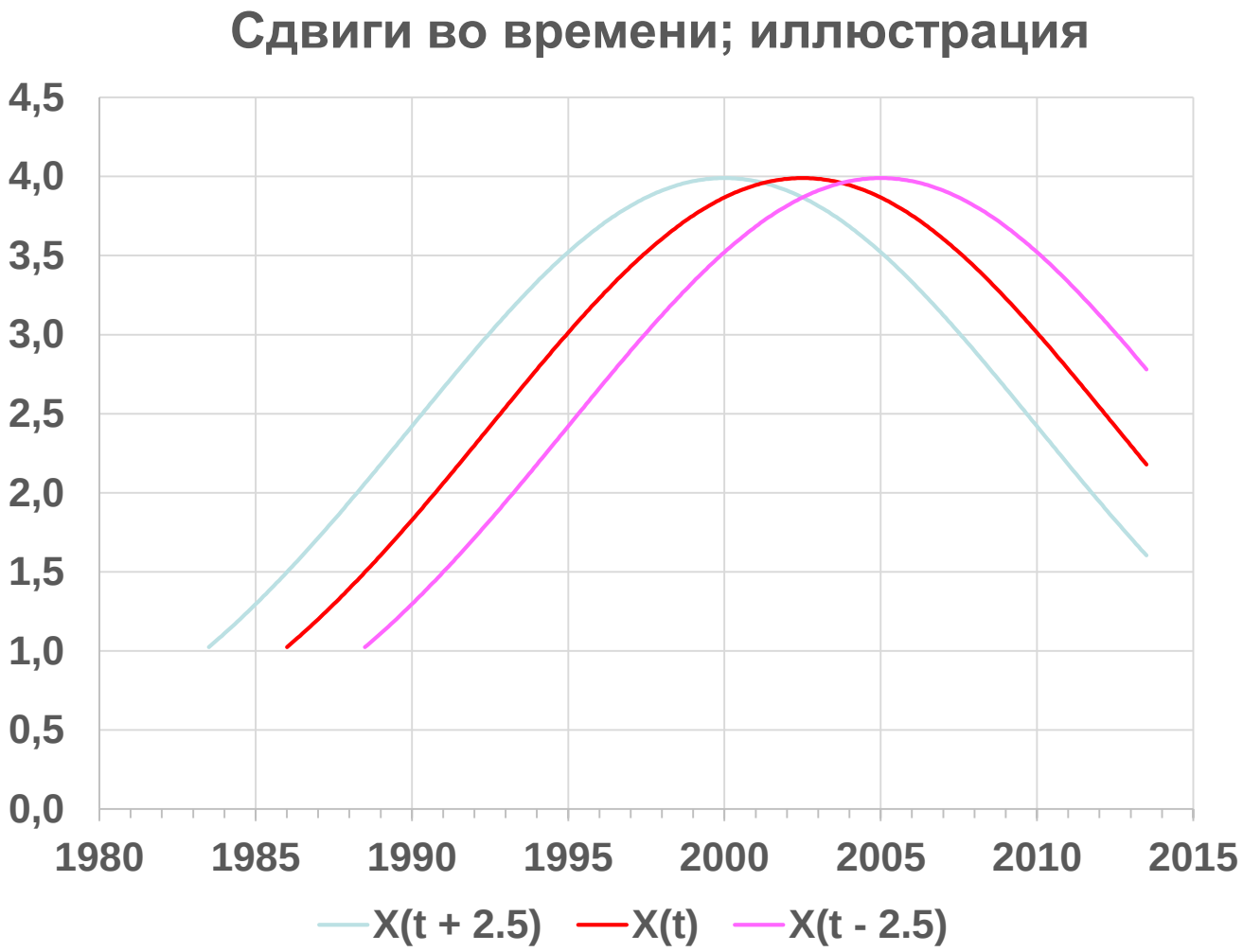
содержание N_2O, млрд$^{-1}$



Пример производных рядов для рядов CH_4, станция ALT (Alert): *A* - черная линия), *B* - синяя линия), (*B-A*) - коричневая линия





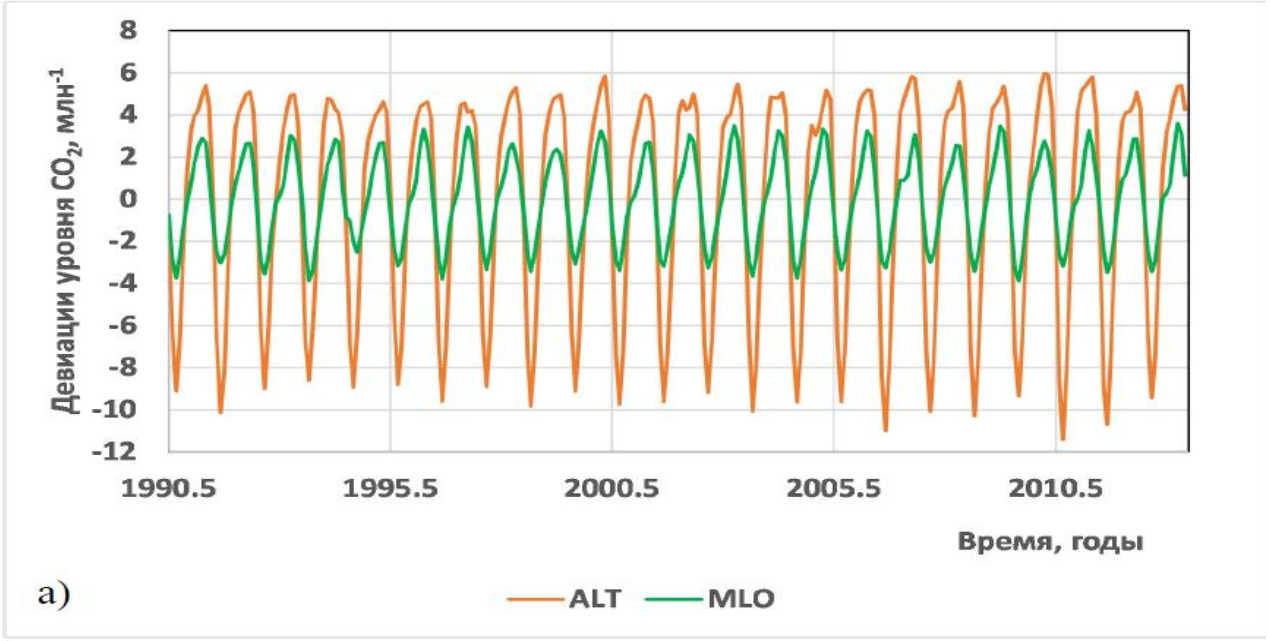


X(t) – исходный ряд;

Y(t) = X(t + 2.5) – сдвиг на 2.5 года против времени;

Z(t) = X(t - 2.5) – сдвиг на 2.5 года по времени.

Сезонные девиации концентрации CO_2, млн$^{-1}$

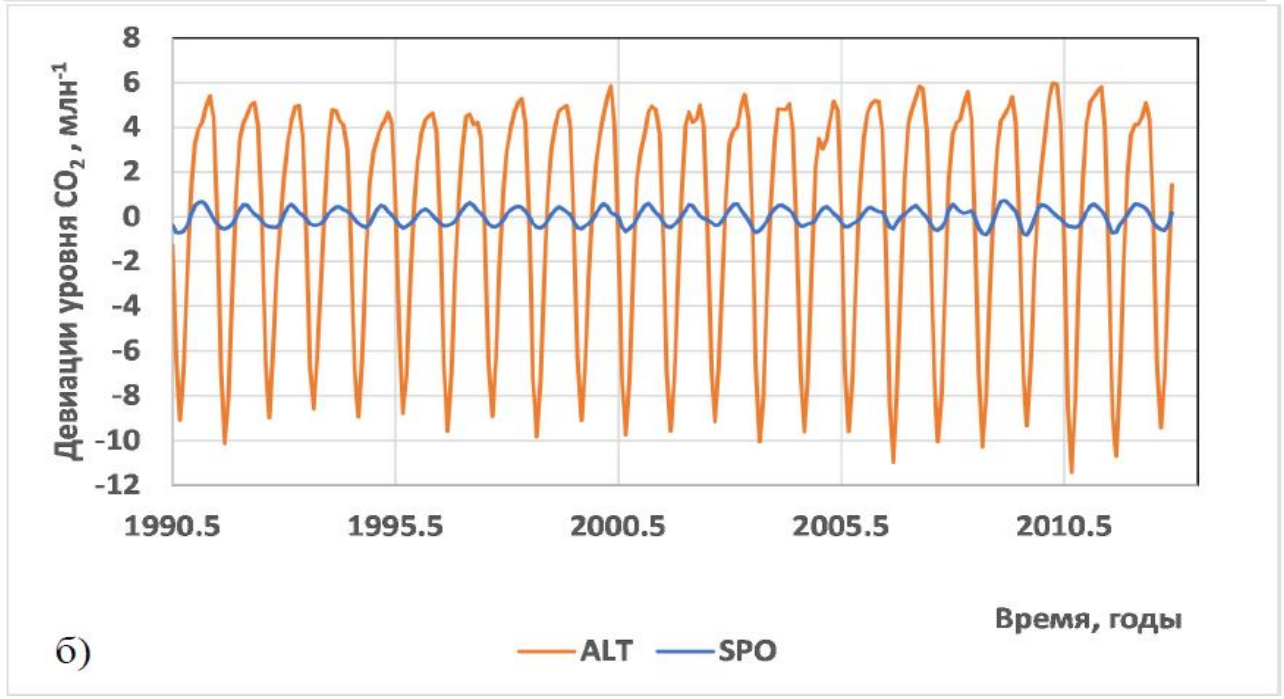


а)

а)

на станциях ALT и MLO, R = 0.95;

ряд MLO сдвинут на 1 мес. против времени

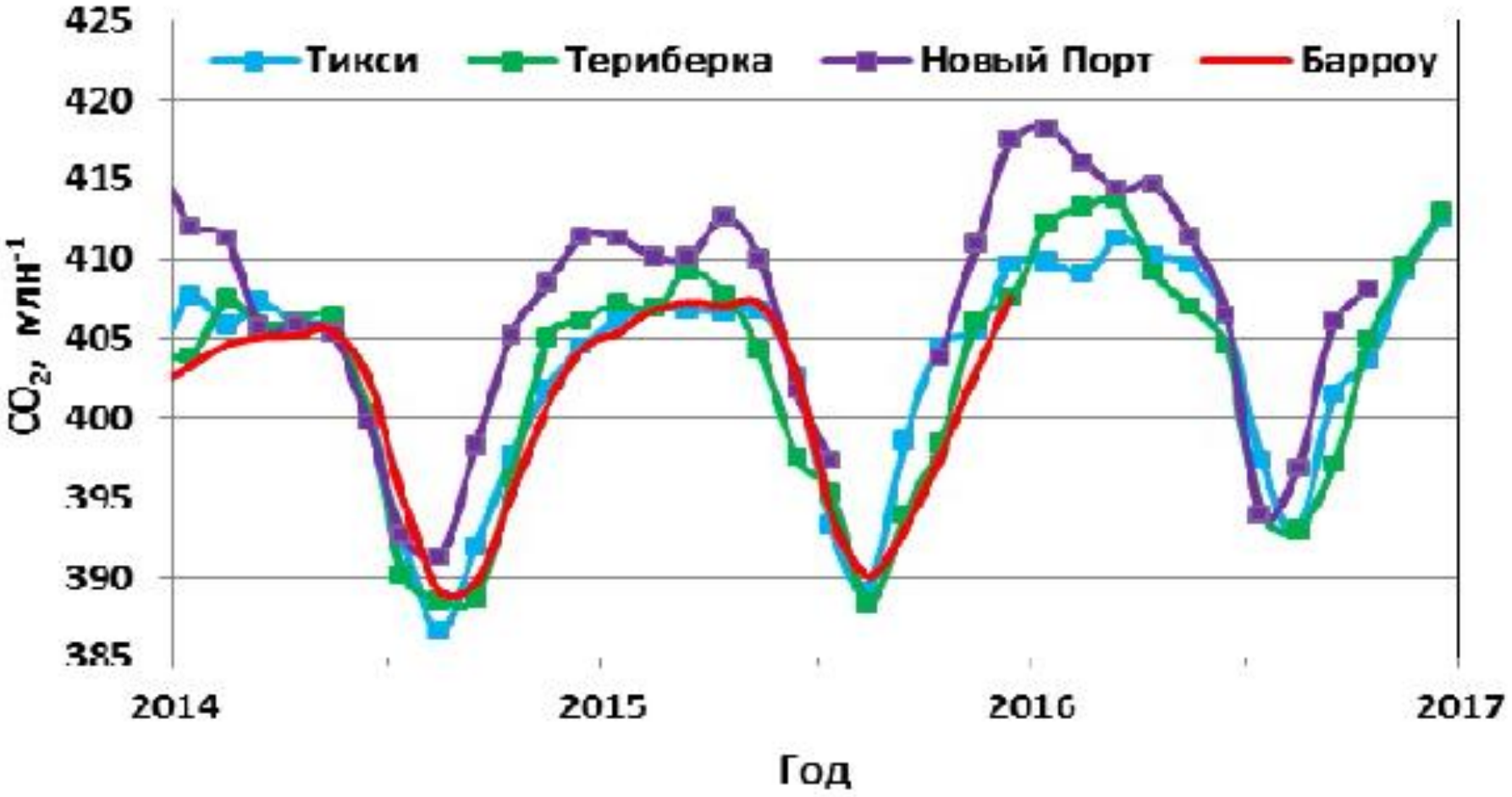


б)

б)

на станциях ALT и SPO, R = 0.87;

ряд SPO сдвинут на 5 мес. по времени

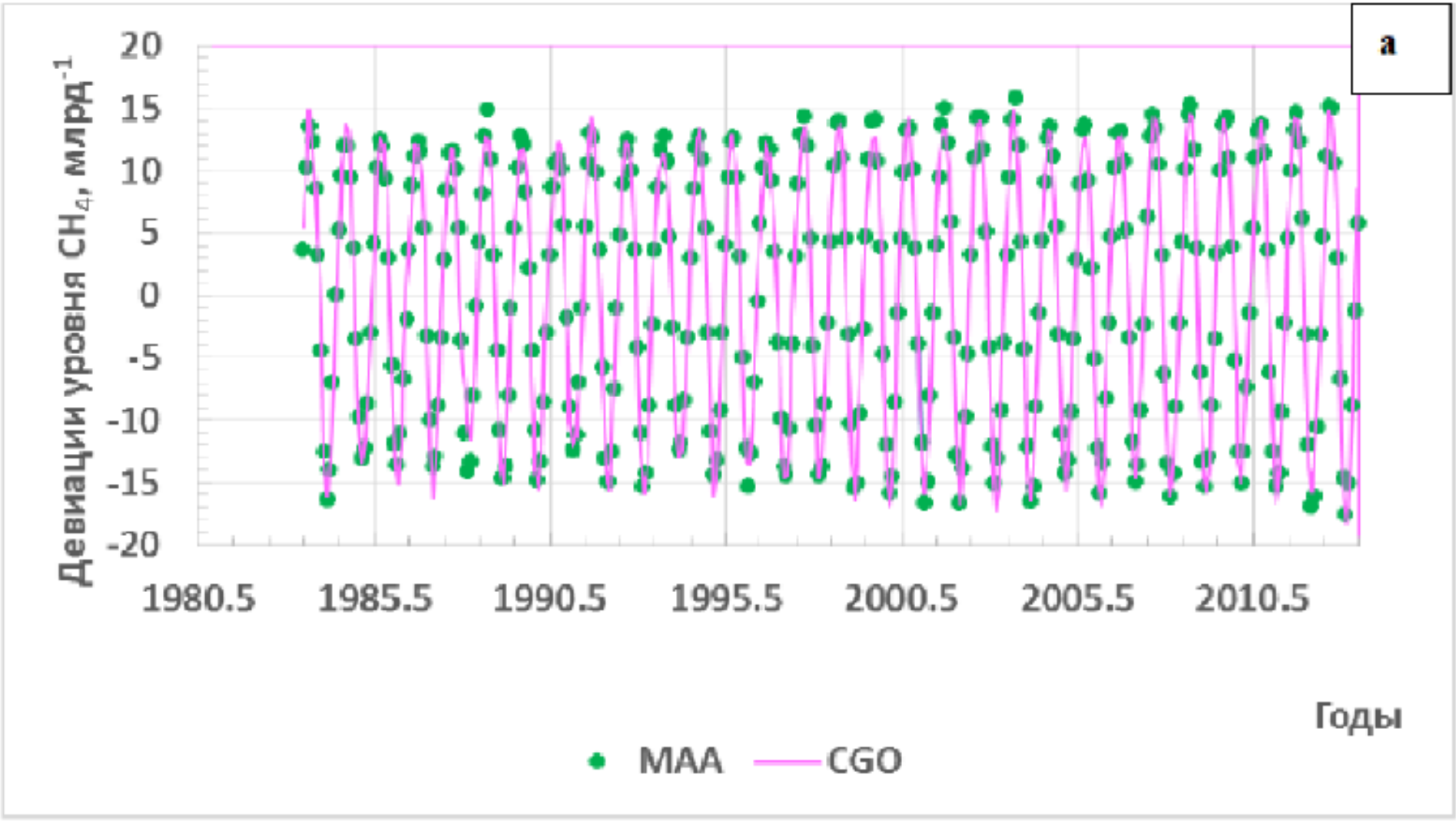


Временной ход концентрации CO_2 на российских арктических станциях и данные станции Барроу (Доклад об особенностях климата…., 2016).

Сезонные девиации уровня CH_4

на станциях MAA и CGO, млрд$^{-1}$

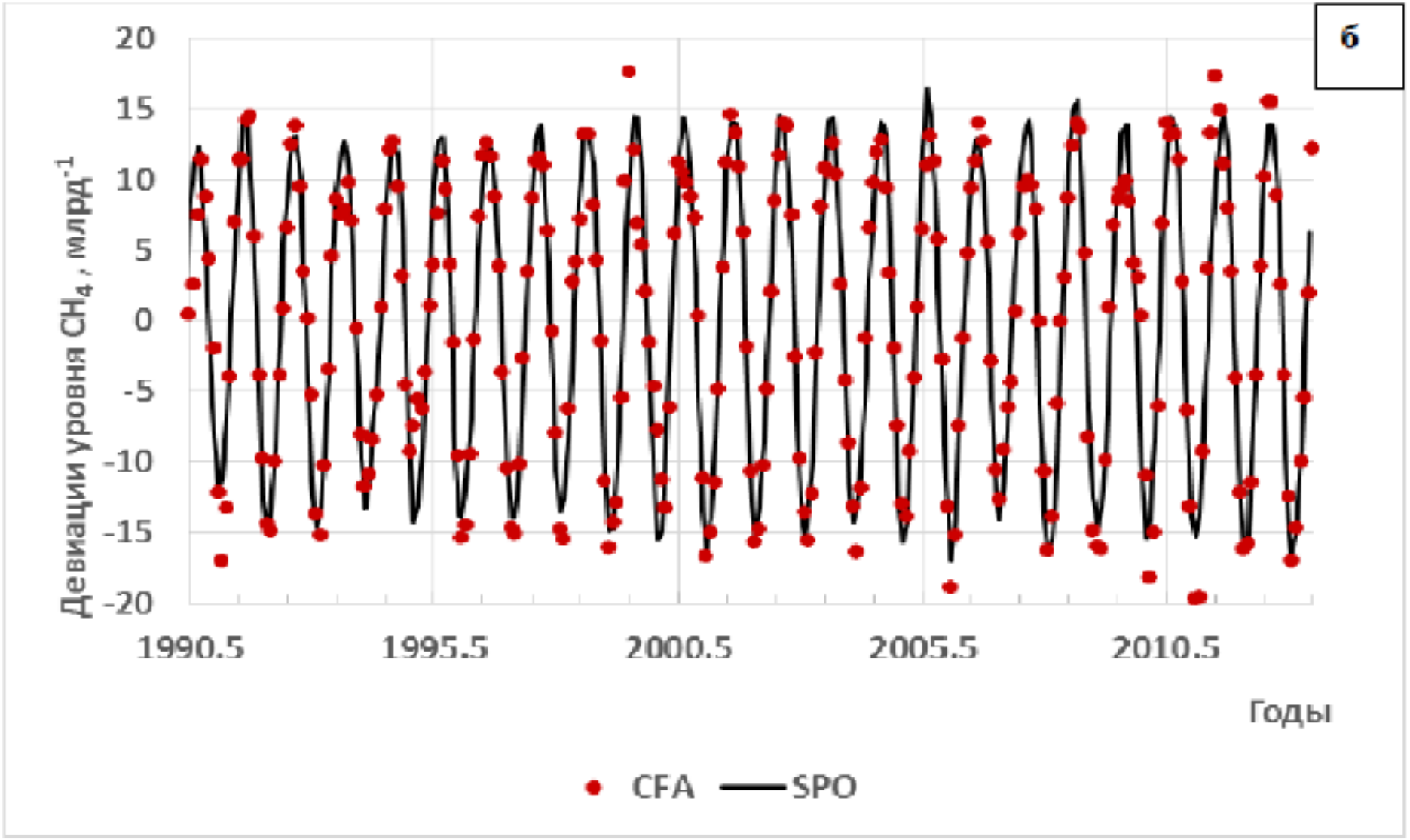
R > 0.99, без временного сдвига



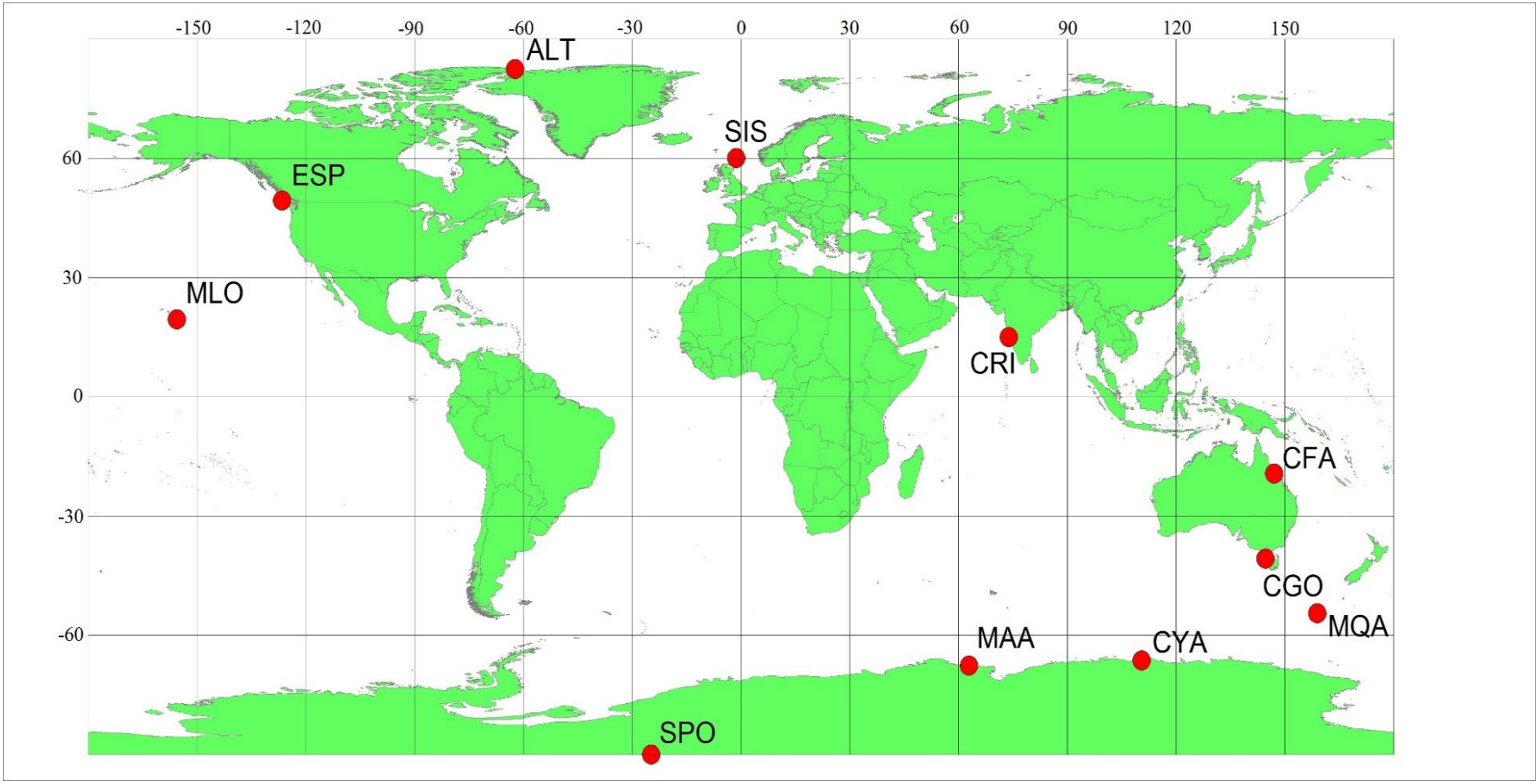
Сезонные девиации уровня CH_4

на станциях CFA и SPO, млрд$^{-1}$

R = 0.95, ряд SPO сдвинут на 1 месяц против времени



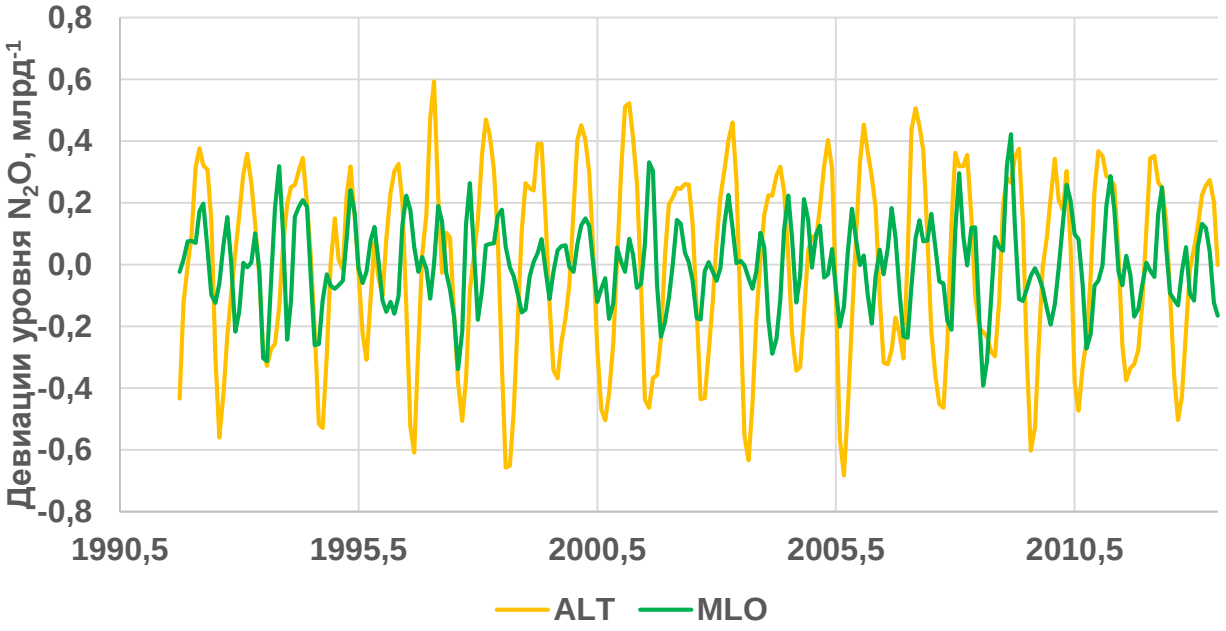
Сеть пробоотборных станций научно-промышленной исследовательской организации *Содружества наций (CSIRO)*



CSIRO GASLAB Flask Sampling Network.

The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)

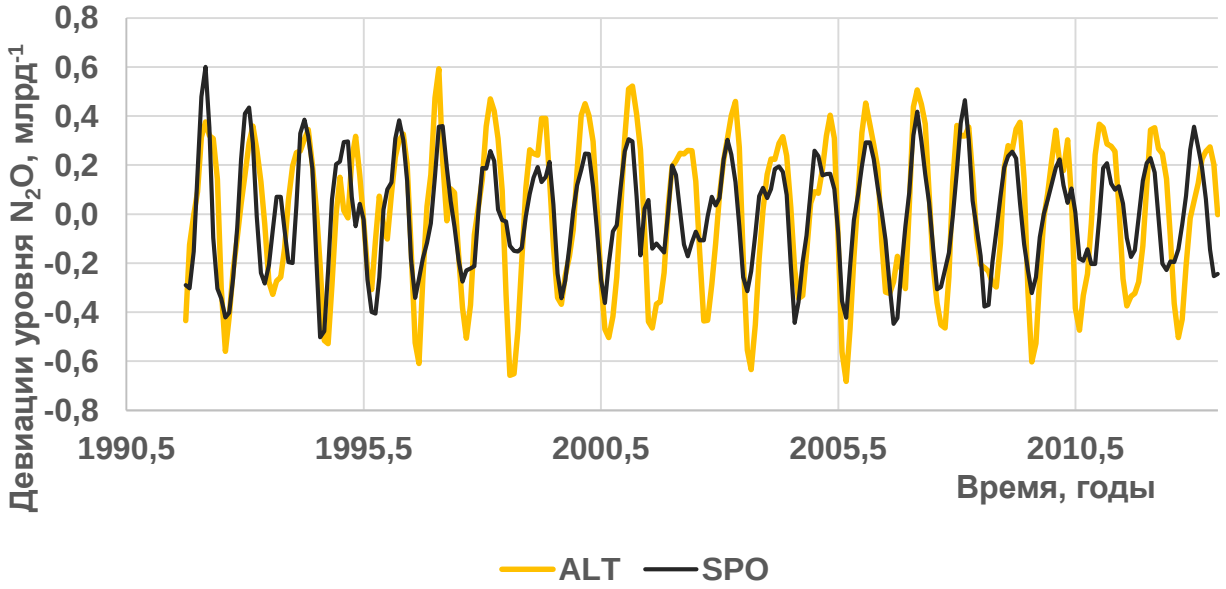
Сезонные девиации уровня N_2O, *млрд$^{-1}$*



а)

на станциях ALT и MLO, R = 0.24;

ряд MLO сдвинут на 3 мес. по времени



б)

на станциях ALT и SPO, R = 0.72; ряд SPO сдвинут на 3 мес. по времени

N_2O: Оценки коэффициентов корреляции рядов (*B*-*A*) для 11-ти пробоотборных станций сети CSIRO

Строки матрицы соответствуют первой из коррелируемых станций, столбцы – второй; под оценкой указан оптимальный сдвиг (в месяцах), который относится ко второй переменной.

	SPO	MAA	CYA	MQA	CGO	CFA	CRI	MLO	ESP	SIS	ALT
SPO	1.00	0.56	0.67	0.54	0.80	0.53	0.62	0.32	0.34	0.50	0.72
	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	3
MAA	0.56	1.00	0.55	0.48	0.59	0.48	0.42	0.33	0.28	0.44	0.59
	0	0	0	0	0	0	1	1	5	4	4
CYA	0.67	0.55	1.00	0.65	0.67	0.54	0.58	0.30	0.67	0.48	0.67
	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3	3
MQA	0.54	0.48	0.65	1.00	0.62	0.43	0.37	0.20	0.43	0.57	0.61
	0	0	0	0	0	0	0	-1	4	3	3
CGO	0.80	0.59	0.67	0.62	1.00	0.58	0.66	0.30	0.39	0.55	0.73
	0	0	0	0	0	1	0	1	5	3	3
CFA	0.53	0.48	0.54	0.43	0.58	1.00	0.39	0.34	0.38	0.41	0.56
	0	0	-1	0	-1	0	-1	2	6	2	3
CRI	0.62	0.42	0.58	0.37	0.66	0.39	1.00	0.29	0.28	0.64	0.71
	0	-1	0	0	0	1	0	3	-6	3	3
MLO	0.32	0.33	0.30	0.20	0.30	0.34	0.29	1.00	0.29	0.19	0.24
	-1	-1	0	1	-1	-2	-3	0	4	4	3
ESP	0.34	0.28	0.67	0.43	0.39	0.38	0.28	0.29	1.00	0.43	0.46
	-5	-5	-3	-4	-5	-6	6	-4	0	-1	-1
SIS	0.50	0.44	0.48	0.57	0.55	0.41	0.64	0.19	0.43	1.00	0.62
	-3	-4	-3	-3	-3	-2	-3	-4	1	0	0
ALT	0.72	0.59	0.67	0.61	0.73	0.56	0.71	0.24	0.46	0.62	1.00
	-3	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-3	1	0	0

CO_2: Оценки коэффициентов корреляции рядов (*B*-*A*) для 11-ти пробоотборных станций сети CSIRO

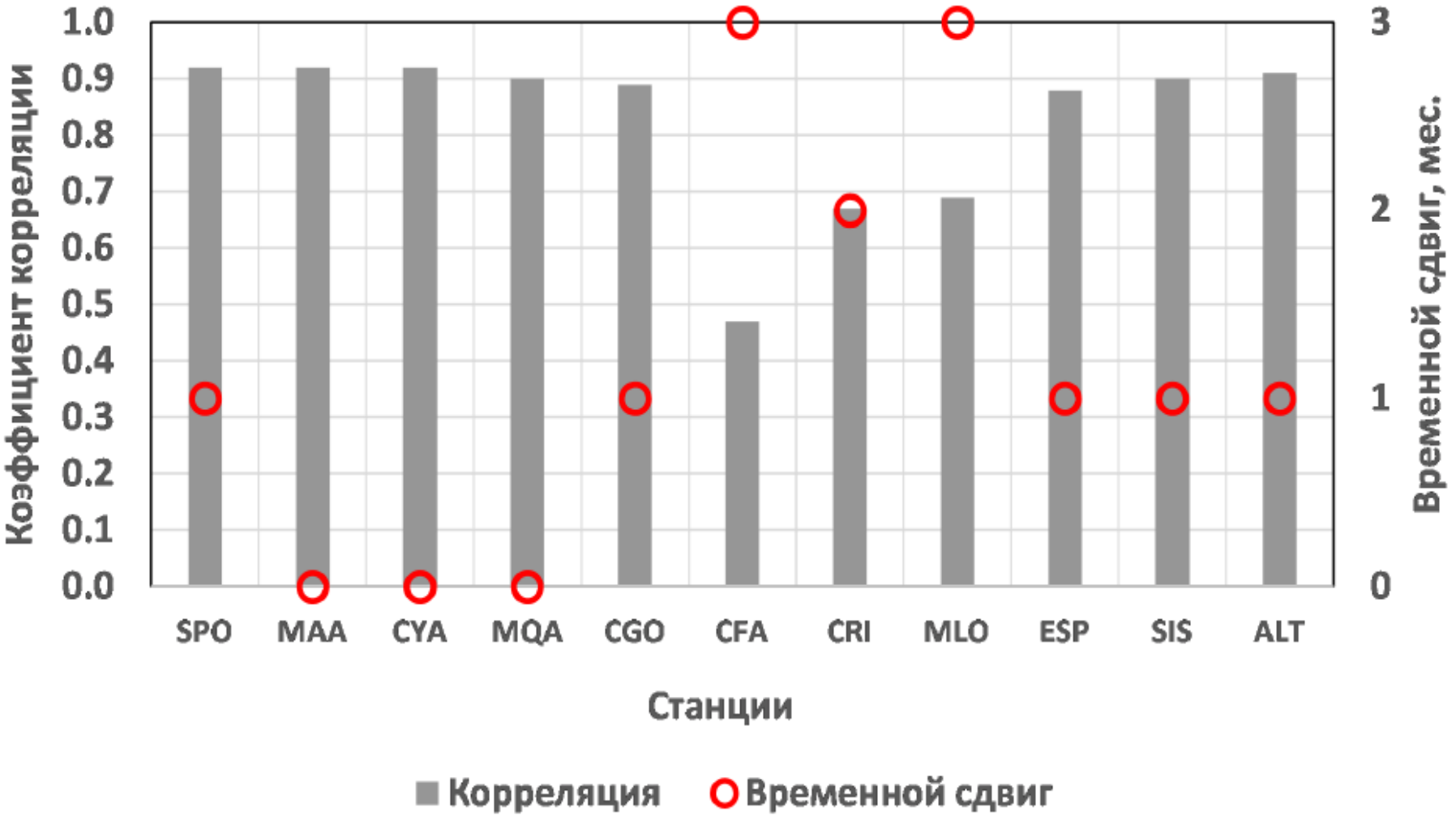
Строки матрицы соответствуют первой из коррелируемых станций, столбцы – второй; под оценкой указан оптимальный сдвиг (в месяцах), который относится ко второй переменной.

	SPO	MAA	CYA	MQA	CGO	CFA	CRI	MLO	ESP	SIS	ALT
SPO	1.00	0.91	0.91	0.86	0.91	0.51	0.71	0.87	0.86	0.88	0.87
	0	0	0	-1	0	2	5	-6	5	5	5
MAA	0.91	1.00	0.91	0.87	0.93	0.49	0.77	0.90	0.87	0.90	0.84
	0	0	0	-1	0	2	5	-5	5	5	-6
CYA	0.91	0.91	1.00	0.91	0.93	0.48	0.75	0.89	0.84	0.85	0.83
	0	0	0	0	0	2	5	-5	5	5	-6
MQA	0.86	0.87	0.91	1.00	0.88	0.53	0.72	0.86	0.81	0.85	0.84
	1	1	0	0	0	2	-6	-5	6	6	6
CGO	0.91	0.93	0.93	0.88	1.00	0.53	0.74	0.87	0.81	0.84	0.80
	0	0	0	0	0	2	5	-5	5	5	-6
CFA	0.51	0.49	0.48	0.53	0.53	1.00	0.48	0.53	0.51	0.51	0.50
	-2	-2	-2	-2	-2	0	3	5	4	4	4
CRI	0.71	0.77	0.75	0.72	0.74	0.48	1.00	0.77	0.60	0.64	0.69
	-5	-5	-5	6	-5	-3	0	2	0	0	1
MLO	0.87	0.90	0.89	0.86	0.87	0.53	0.77	1.00	0.93	0.94	0.95
	6	5	5	5	5	-5	-2	0	-1	-1	-1
ESP	0.86	0.87	0.84	0.81	0.81	0.51	0.60	0.93	1.00	0.98	0.98
	-5	-5	-5	-6	-5	-4	0	1	0	0	0
SIS	0.88	0.90	0.85	0.85	0.84	0.51	0.64	0.94	0.98	1.00	0.98
	-5	-5	-5	-6	-5	-4	0	1	0	0	0
ALT	0.87	0.84	0.83	0.84	0.80	0.50	0.69	0.95	0.98	0.98	1.00
	-5	6	6	-6	6	-4	-1	1	0	0	0

CH_4: Оценки коэффициентов корреляции рядов (*B*-*A*) для 11-ти пробоотборных станций сети CSIRO

Строки матрицы соответствуют первой из коррелируемых станций, столбцы – второй; под оценкой указан оптимальный сдвиг (в месяцах), который относится ко второй переменной.

	SPO	MAA	CYA	MQA	CGO	CFA	CRI	MLO	ESP	SIS	ALT
SPO	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.95	0.88	0.74	0.79	0.80	0.92
	0	0	0	0	0	-1	3	4	5	5	5
MAA	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.96	0.88	0.73	0.80	0.82	0.91
	0	0	0	0	0	-1	3	4	5	5	5
CYA	0.99	1.00	1.00	0.98	0.99	0.96	0.89	0.77	0.84	0.78	0.91
	0	0	0	0	0	-1	3	4	5	5	5
MQA	0.99	0.99	0.98	1.00	0.99	0.94	0.86	0.73	0.83	0.83	0.93
	0	0	0	0	0	-1	4	5	5	5	5
CGO	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.94	0.87	0.74	0.82	0.83	0.93
	0	0	0	0	0	-1	4	5	5	5	5
CFA	0.95	0.96	0.96	0.94	0.94	1.00	0.88	0.75	0.79	0.80	0.89
	1	1	1	1	1	0	4	5	5	5	5
CRI	0.88	0.88	0.89	0.86	0.87	0.88	1.00	0.73	0.70	0.77	0.81
	-3	-3	-3	-4	-4	-4	0	1	1	1	1
MLO	0.74	0.73	0.77	0.73	0.74	0.75	0.73	1.00	0.77	0.67	0.75
	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-1	0	0	0	0
ESP	0.79	0.80	0.84	0.83	0.82	0.79	0.70	0.77	1.00	0.83	0.83
	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-1	0	0	0	0
SIS	0.80	0.82	0.78	0.83	0.83	0.80	0.77	0.67	0.83	1.00	0.84
	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-1	0	0	0	0
ALT	0.92	0.91	0.91	0.93	0.93	0.89	0.81	0.75	0.83	0.84	1.00
	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-1	0	0	0	0



Оценки коэффициента корреляции рядов сезонных девиаций концентраций CH_4 и CO_2 (левая вертикальная ось), которые достигаются при оптимальных временных сдвигах ряда для CO_2 (правая вертикальная ось)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение во времени уровня содержания каких-либо веществ на станциях глобального мониторинга определяется тремя процессами:

1) обменом воздушными массами «местной» части атмосферы с остальной, «глобальной» (существенное локальное влияние отсутствует, что должно обеспечиваться выбором станции глобального мониторинга);
2) обменом с океаном и сушей;
3) расходованием веществ в химических реакциях в атмосфере.

Эти три процесса в разной степени принимают участие в судьбе трех рассматриваемых газов – CO_2, CH_4 и N_2O.

Первый процесс ***- обмен воздушными массами - для всех трех газов общий.*** **В сезонном отношении он должен сходно влиять на изменение концентрации каждого из газов. Это касается как сезонных особенностей горизонтального переноса, так и вертикального.**

К обмену с океаном и сушей – **второй процесс** ***- способен только углекислый газ, причем существенную роль в этом играет сезонность процесса фотосинтеза.*** **Это сезонный процесс. Земная поверхность в малой степени поглощает метан, а закись азота практически не поглощает.**

Только метан имеет основной химический сток – **третий процесс** ***- в нижней атмосфере*** **– он расходуется в реакциях с гидроксил-радикалом, который, в свою очередь, образуется при участии озона и водяного пара. Этот процесс также имеет выраженную сезонность, поскольку, в частности, проходит при участии коротковолнового солнечного излучения (УФ).**

Что следует из анализа рядов данных:

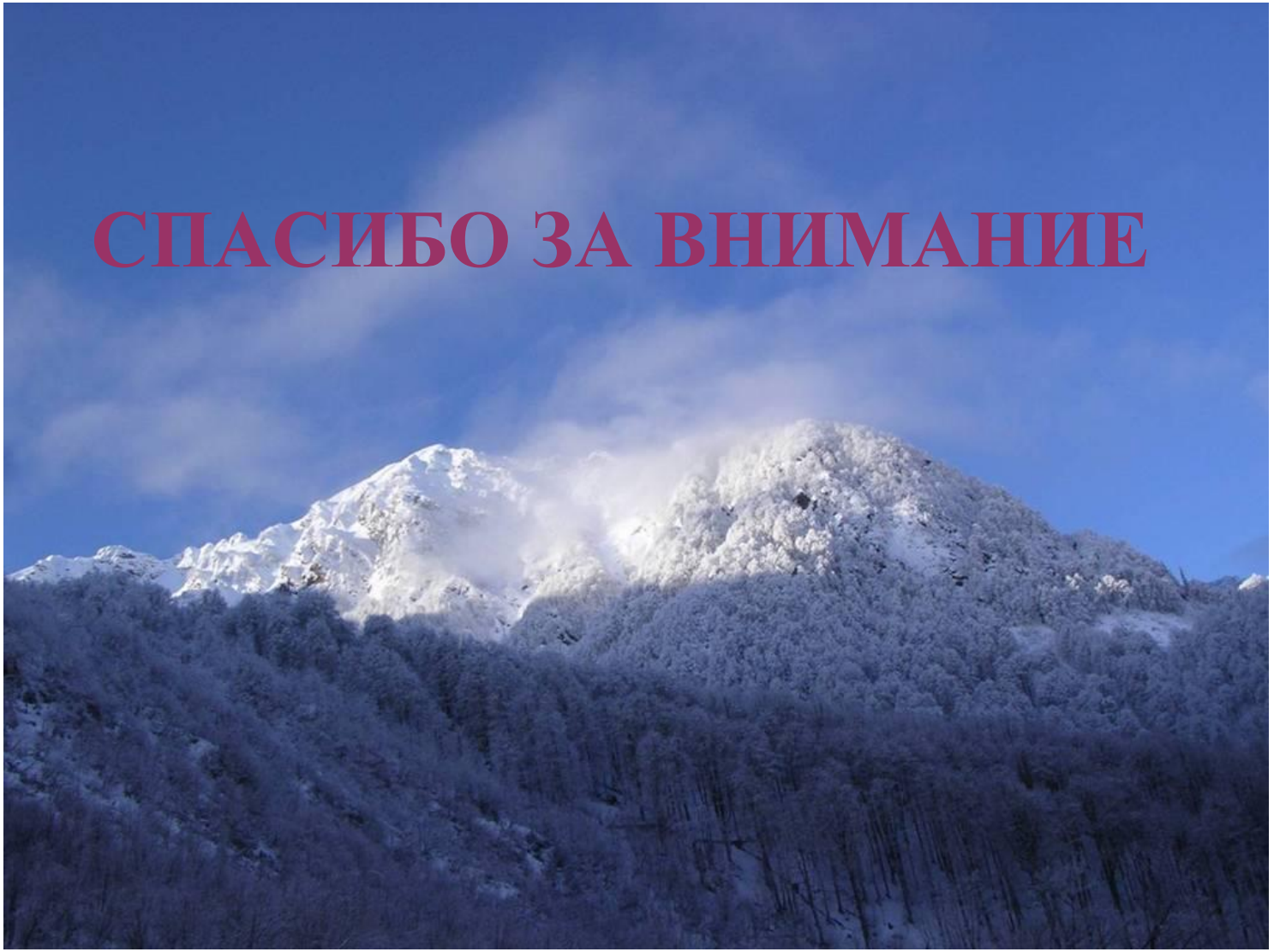
- **Для каждого из трех газов тренды уровня содержания в атмосфере при 12-месячном осреднении (ряды *A*), сходны на всех станциях (исключение – индийская региональная станция Cape Rama);**

- **Ряды «остатков» (ряды *B-A*) представляют собой внутригодовые колебания; для CO_2 и CH_4 они имеют сезонный характер, их форма устойчива;**

- **корреляции этих рядов для CO_2 и CH_4 - после применения специфических сдвигов во времени - высоки, особенно для метана, даже для станций, расположенных в разных полушариях, причем сдвиги имеют сезонный характер; для N_2O высоких значений коэффициента корреляции не обнаружено;**

- **Значительные корреляционные связи, обнаруженные для CO_2 и, особенно, для CH_4, по-видимому, обеспечиваются не процессами горизонтального и вертикального переноса в атмосфере (судя по слабым корреляционным связям для N_2O, для которого изменения уровня содержания на станциях в сезонном масштабе времени формируются только этими процессами), а иными факторами.**

- **Этими факторами могут быть для CO_2 обмен с океаном и наземными экосистемами (он может активизироваться в вегетационный сезон), а для CH_4 – химический сток в реакции с гидроксилом (он может сезонно активизироваться при усилении потока солнечного излучения).**
- **Общность первопричины сезонных колебаний уровня содержания CO_2 и CH_4 подтверждается высокой корреляцией (*B*-*A*)-рядов на внетропических станциях.**


СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ